Atlas Solarimétrico de Minas Gerais

VOLUME II

ATLAS SOLARIMÉTRICO DE MINAS GERAIS VOLUME II

Coordenadores do Projeto e Organizadores do Livro

Ruibran Januário dos Reis

Chigueru Tiba

Coordenador do Projeto na Cemig

Cláudio Homero Ferreira da Silva

Direção de Arte

Omar Vianello

Editoração Eletônica

Kendson Alves

Produção Gráfica

Futura Express

FICHA CATALOGRÁFICA
Elaborada pela Biblioteca da Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais

G943 **Atlas Solarimétrico de Minas Gerais - Volume II**

/ Ruibran Januário dos Reis e Chigueru Tiba (Org.). Belo Horizonte, 2016.
Editora Futura Express . 236 f. : il.

ISBN: 978-85-8239-043-6

1. Radiação solar - Guias. 2. Climatologia 3. Precipitação (Meteorologia).
I. Reis, Ruibran Januário dos.

CDU: 551.50

SUMÁRIO

CARACTERÍSTICAS GEOGRÁFICAS DE MINAS GERAIS

Ruibran Januário dos Reis

Daniel Pereira Guimarães

Douglas Sathler dos Reis

João Francisco de Abreu

Viviane Augusta Pascoal

1.1
INTRODUÇÃO

Minas Gerais é a quarta unidade da Federação em extensão territorial, apresentando 586.528 km^2, o que corresponde a 7% do território do País. O estado está localizado entre os paralelos 14°13'58'' e 22°54'00'' de latitude Sul e os meridianos 39°51'32'' e 51°02'35'' a Oeste de Greenwich. O estado compõe a região Sudeste e possui uma linha de divisa de 4.727 km com os estados vizinhos. Limita-se a sul e sudoeste com o estado de São Paulo, a oeste com o Mato Grosso do Sul, a noroeste com Goiás, ao norte com a Bahia, a leste com o Espírito Santo e a sudeste com o Rio de Janeiro.

O território mineiro é inteiramente formado por planaltos, destacando-se o Planalto Central na porção noroeste e o Planalto Atlântico que abrange mais da metade do estado, Minas Gerais tem predominância dos "mares de morros" e altitude média de 700m. De acordo com a figura 1, as serras da Mantiqueira, do Caparaó, da Canastra e a Cordilheira do Espinhaço se destacam, com altitudes superiores a 1.700 m. Além das áreas montanhosas, o estado apresenta também áreas de planaltos e as depressões formadas pelos vales dos Rios São Francisco, Jequitinhonha, Doce e Paraíba do Sul.
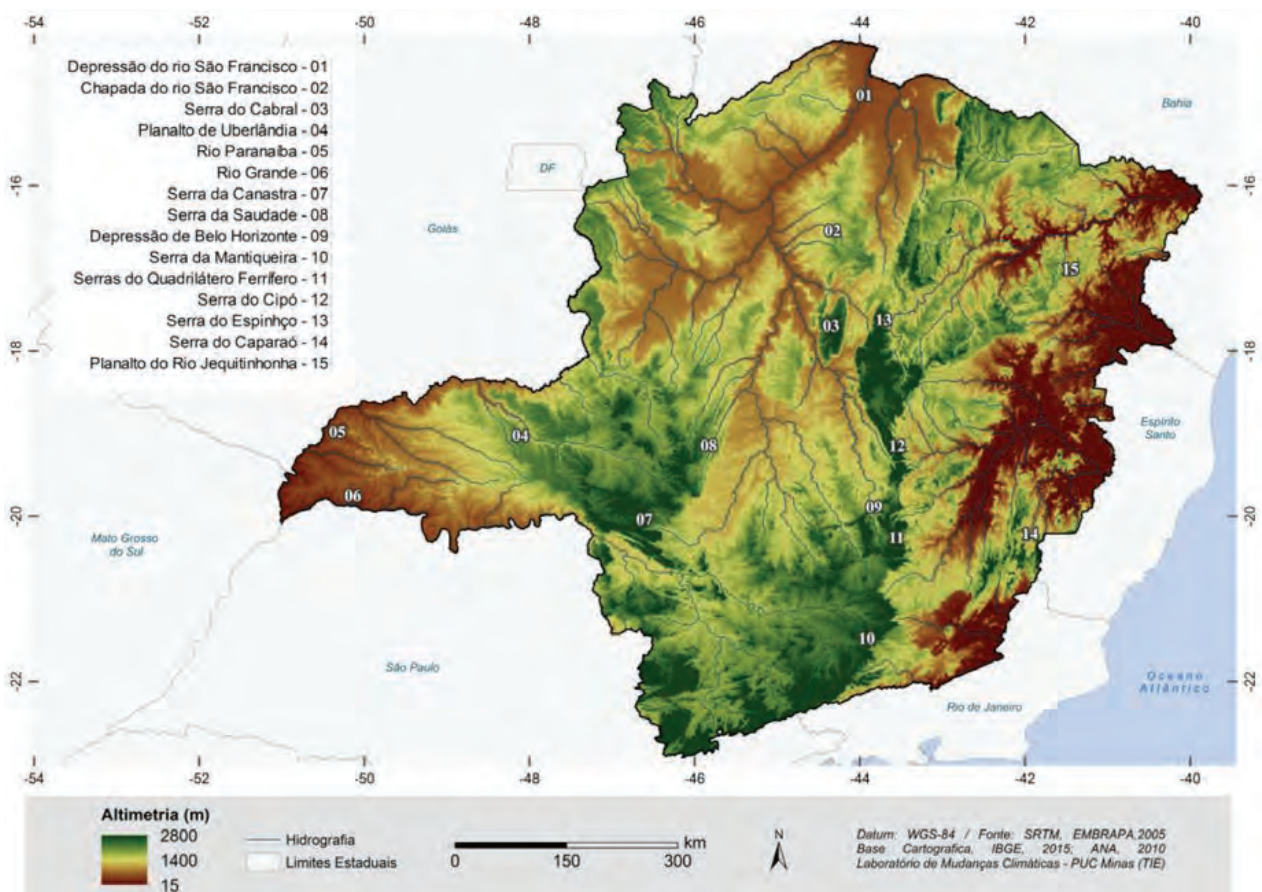
Figura 1 . Geomorfologia do Estado de Minas Gerais.

1.1 INTRODUÇÃO

A Serra da Mantiqueira, denominação Tupi que significa serra que chora em função do grande número de nascentes ali existentes, estende-se pela divisa de Minas Gerais com os estados de São Paulo e Rio de Janeiro, penetrando o interior mineiro até as cercanias de Barbacena. Integra o ecossistema da Mata Atlântica com uma riquíssima biodiversidade. Na região do Parque Nacional do Itatiaia, limite entre os municípios de Resende (RJ) e Itamonte (MG) está o pico das Agulhas Negras, com 2.787 m de altitude. Outro ponto culminante nessa região é o pico da Pedra da Mina (2.770 m de altitude), entre os municípios de Queluz (SP) e Passa Quatro (MG).

A Serra do Caparaó localiza-se na divisa de Minas Gerais com o Espírito Santo, tendo o Pico da Bandeira (2.892 m) como ponto culminante. Até a identificação dos Picos da Neblina e 31 de Março na Serra do Imeri, fronteira do Brasil e Venezuela, o Pico da Bandeira era considerado o ponto mais elevado do território brasileiro. O Pico do Cristal, no município de Caparaó, com 2.798 m, ocupa o quarto lugar em altitude.

A Serra da Canastra, localizada no sudoeste de Minas Gerais, tem esse nome devido às suas características fisiográficas abauladas. É local da nascente do Rio São Francisco e famosa pela biodiversidade, clima e inúmeras cachoeiras ali existentes, como a imponente Casca D'Anta, com seus 186 m de altura.

A Serra do Espinhaço estende-se desde o município de Ouro Branco em Minas Gerais até Xique-Xique na Bahia, onde recebe a denominação de Chapada Diamantina. O Quadrilátero Ferrífero, situado no espinhaço meridional, engloba 34 municípios e abriga importantes cidades como a capital Belo Horizonte, Ouro Preto, Mariana, Congonhas, Sabará, João Monlevade e Itabira. O relevo possui importantes regiões serranas, como as do Curral, em Belo Horizonte, do Caraça, do Rola Moça, da Piedade, do Itacolomi, da Moeda, do Mascate e a Serra Azul. Na região setentrional as mais conhecidas são as serras do Cipó, Itambé, do Cabral e a serra Geral. Na Serra do Cipó localiza-se a famosa Cachoeira do Tabuleiro, cujos 273 m de queda livre a torna a maior do estado e a terceira cachoeira mais alta do Brasil.

A capital mineira está dentro da depressão de Belo Horizonte, com um relevo caracterizado por espigões, colinas e encostas policonvexas de declividades variadas. As serras que contornam Belo Horizonte são ramificações da Cordilheira do Espinhaço, com destaque para as serras de Jatobá, José Vieira, Mutuca, Taquaril e Curral. O ponto de maior altitude da capital mineira encontra-se na serra do Curral (1.538 m) e a sede de Belo Horizonte possui 852 m de altitude.

CLIMA

As condições reinantes de tempo durante longos períodos determinam a condição climática de uma região. A classificação climática de Köppen-Geiger é amplamente adotada para caracterizações climatológicas. A última atualização climática de Minas Gerais foi efetuada por Sá Júnior (2009), sendo identificadas as classes climáticas Aw (clima tropical de savana com estação seca de inverno), Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente), Cwb (clima temperado úmido com inverno seco e verão moderadamente quente) e em menor escala as classes BSh (clima de estepe quente) e Am (clima tropical de monção). A Figura 2 ilustra as principais classes climáticas observadas em Minas Gerais.

Figura 2 . *Zoneamento climático do estado de Minas Gerais.*

1.2 CLIMA

As séries históricas empregadas nesse trabalho pertencem às redes pluviométricas monitoradas pela Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig), Serviço Geológico do Brasil (CPRM), Instituto Mineiro de Gestão de Águas (Igam), Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobras), Furnas e Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), gerenciadas pela Agência Nacional das Águas (ANA) através do sistema HidroWeb. A seleção das séries levou em consideração o período de duração da coleta de dados, a continuidade das séries e a análise de consistência dos dados. O período mínimo de duração das séries de dados das estações pluviométricas foi estabelecido em 20 anos para que permitisse uma espacialização consistente das informações em todas as regiões do estado. A análise de consistência baseou-se nos seguintes critérios:

- Descarte de dados mensais quando o número de falhas excedesse a 3 falhas/mês entre os meses de outubro e março;
- Descarte de dados mensais quando o número de falhas excedesse a 5 falhas/mês entre os meses de abril e setembro;
- Reposição das falhas com dados de estações próximas submetidos a testes de homogeneidade conforme metodologia adotada por Caram (2007).
- Descarte de dados mensais quando fossem observados registros de chuvas com magnitudes superiores a 80 mm/dia, precedidas de falhas nas medições (chuvas acumuladas no pluviômetro);
- Descarte de dados diários de chuvas de grande magnitude (acima de 100 mm/dia) quando não houvesse registro de chuvas acima de 50 mm/dia em estações vizinhas ou alterações na vazão de cursos d’água na bacia hidrográfica em que a estação se encontrava.

Entre as estações disponibilizadas pelo HidroWeb para o estado de Minas Gerais, 590 atendem aos critérios de seleção adotados. A Figura 3 apresenta a distribuição da precipitação anual no estado de Minas Gerais, com base nos dados já citados. Já a precipitação média mensal para o estado de Minas Gerais, podem ser observadas nas Figuras 4 a 15, compreendendo os meses entre janeiro e dezembro.
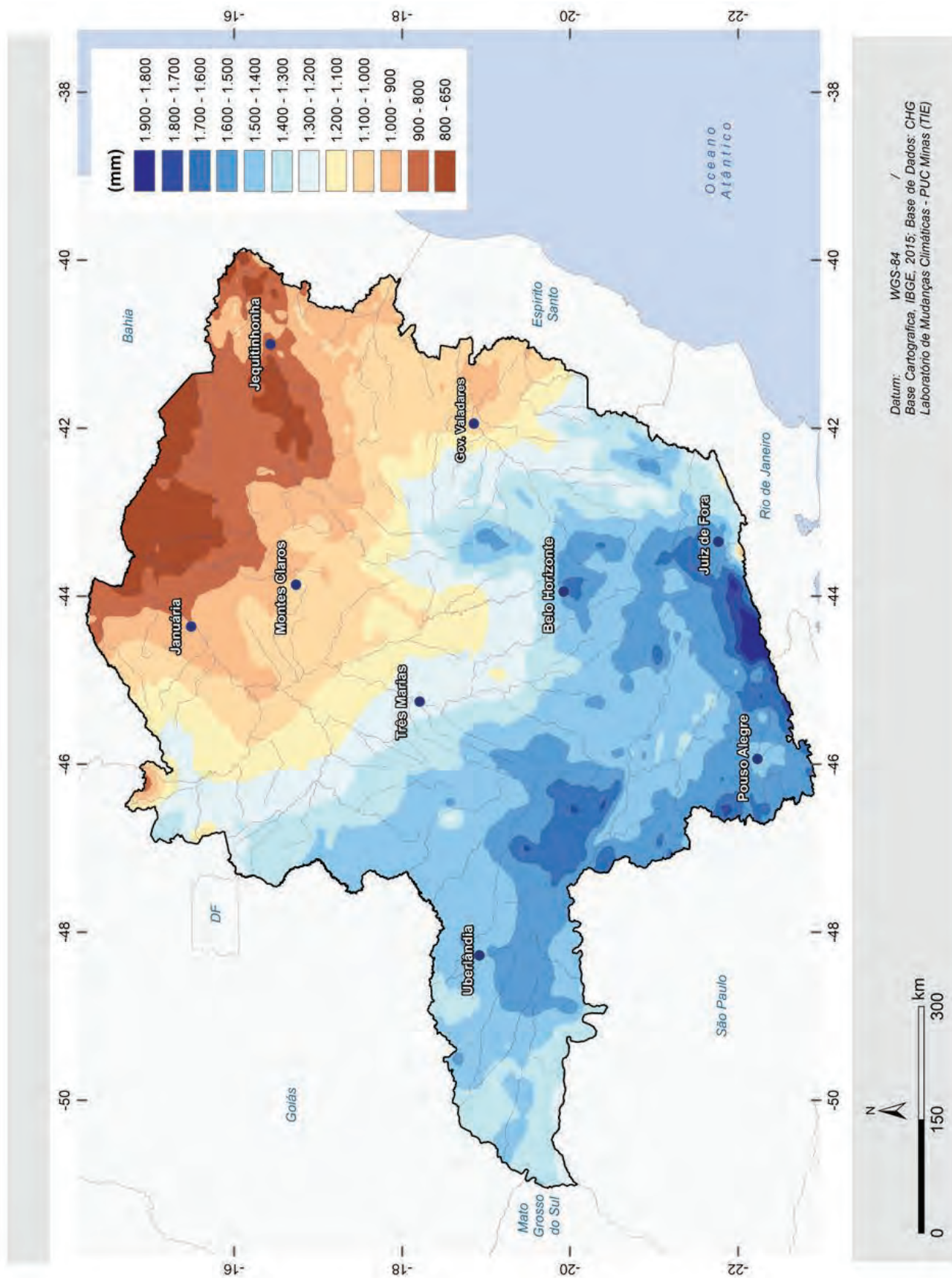
Figura 3 . ***Mapa de precipitação média anual***
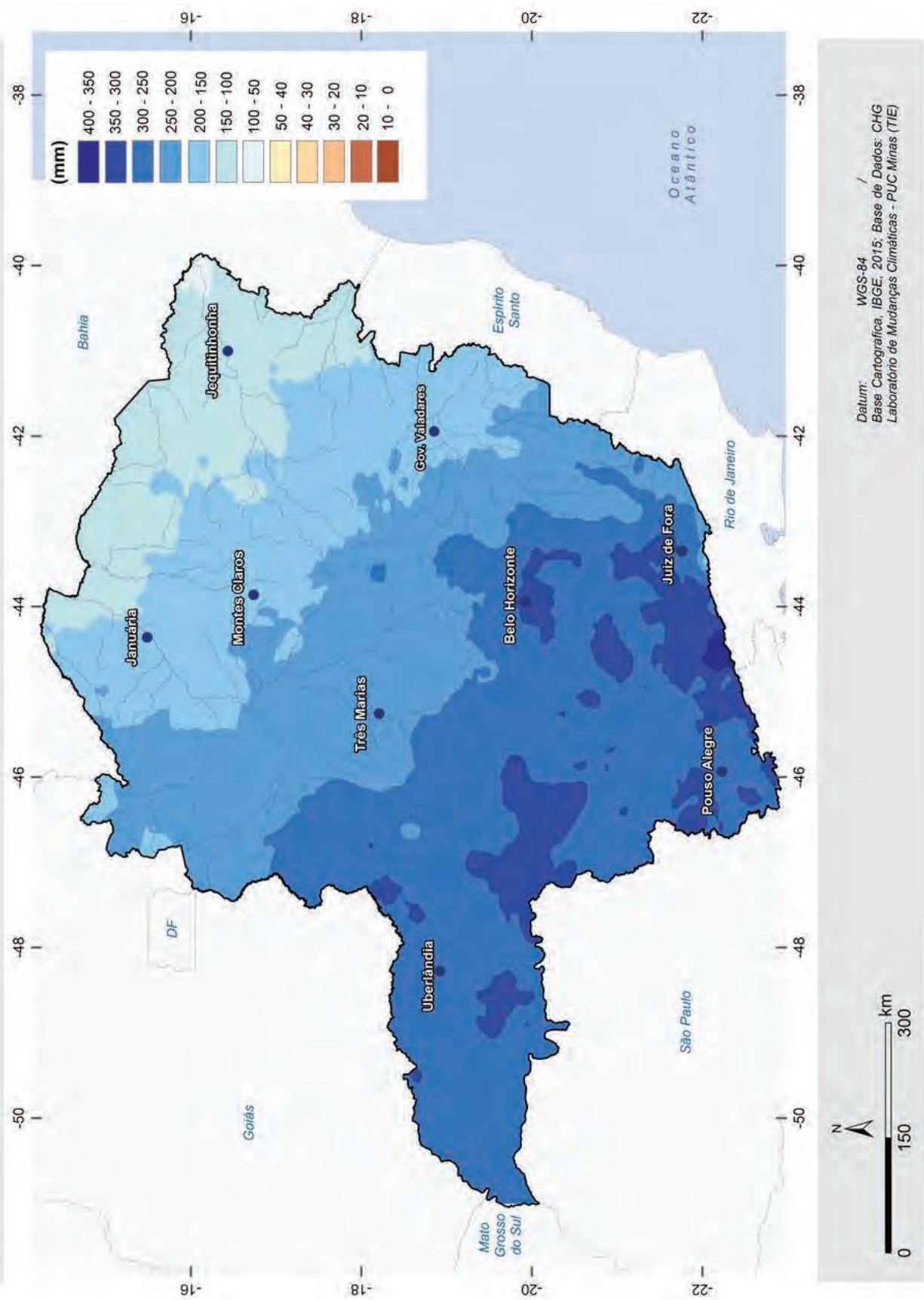
Figura 4 . *Mapa de precipitação média para o mês de janeiro.*
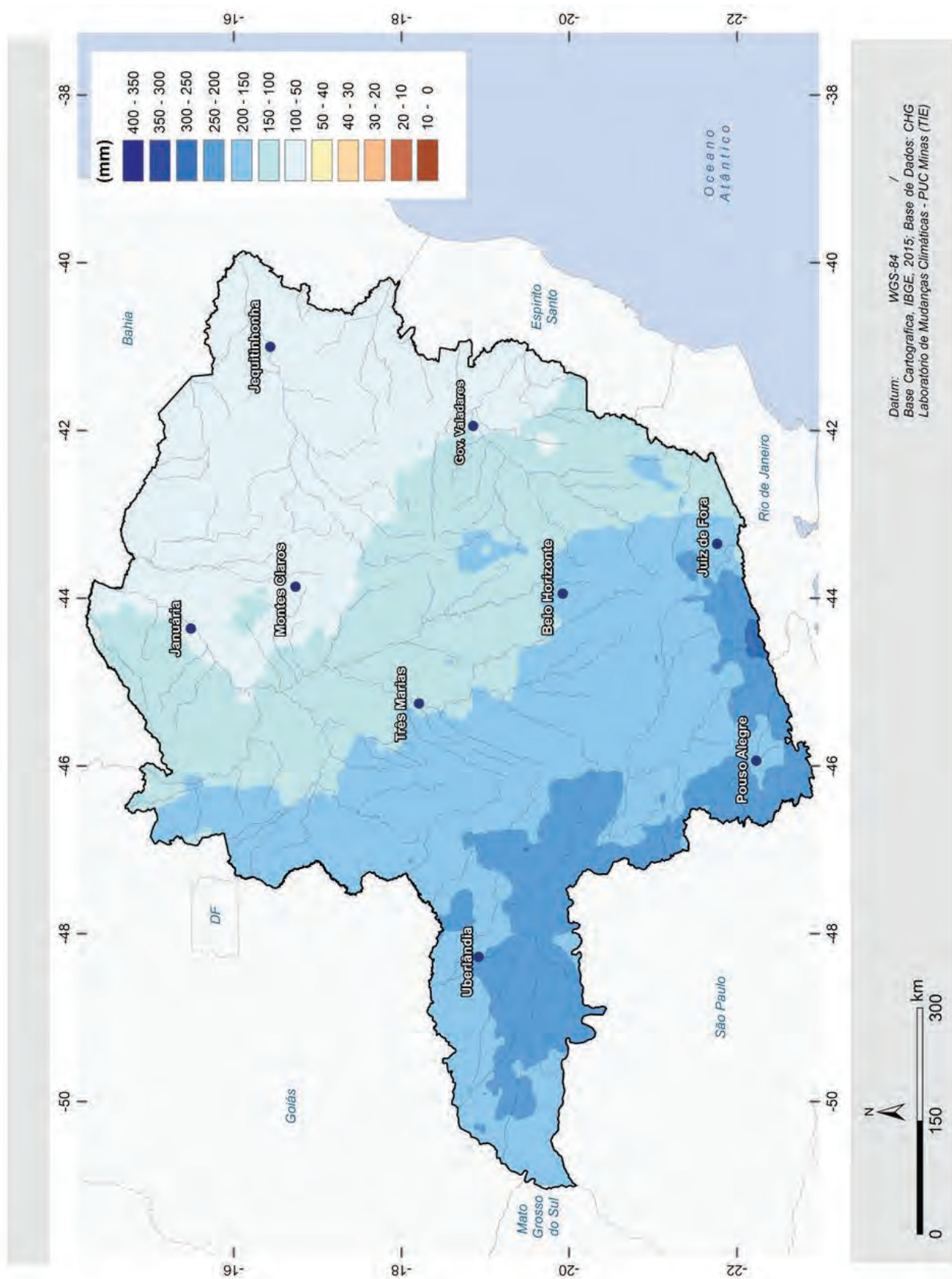
Figura 5 . *Mapa de precipitação média para o mês de fevereiro.*
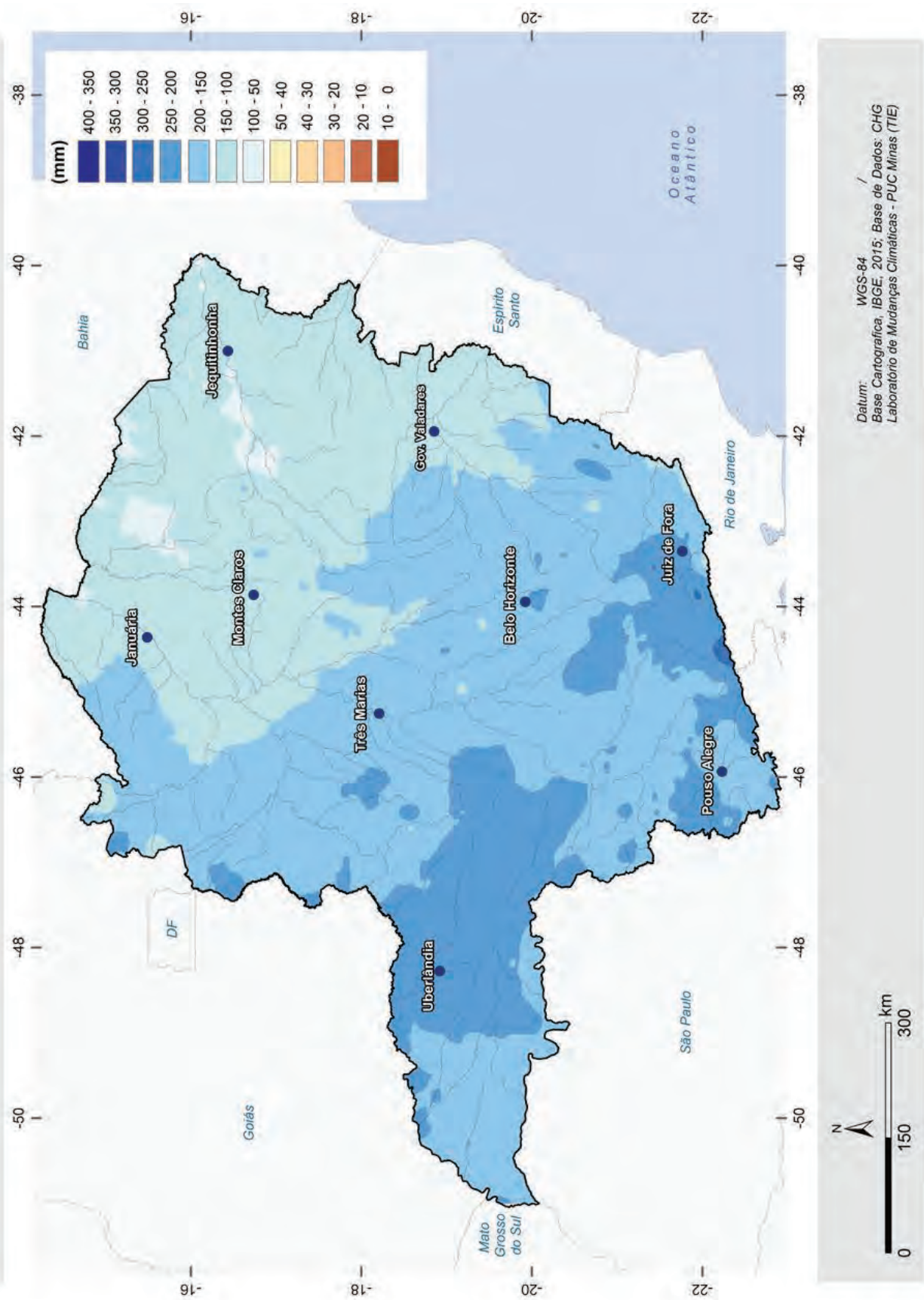
Figura 6 . Mapa de precipitação média para o mês de março.
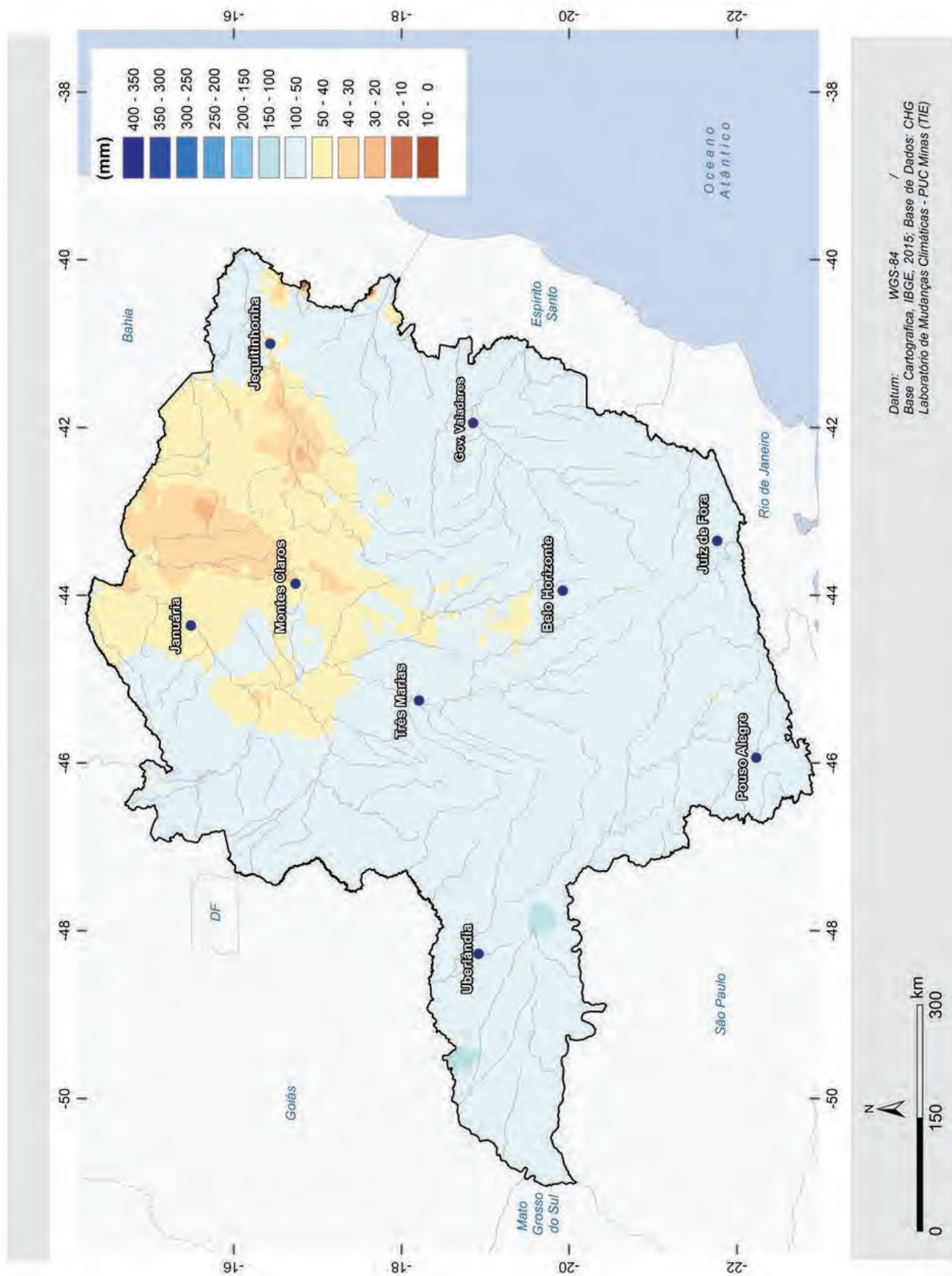
Figura 7 . Mapa de precipitação média para o mês de abril.
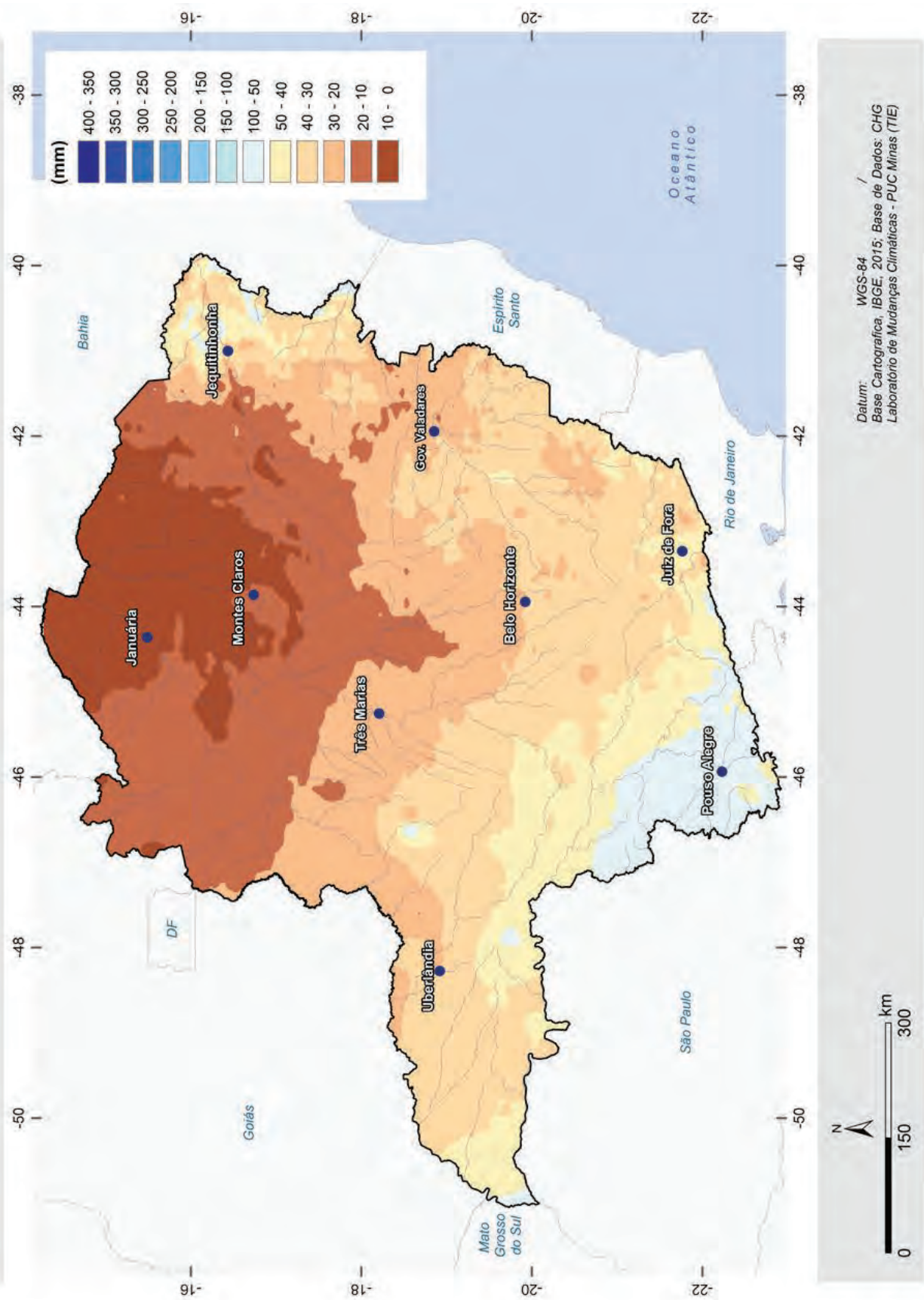
Figura 8 . Mapa de precipitação média para o mês de maio.
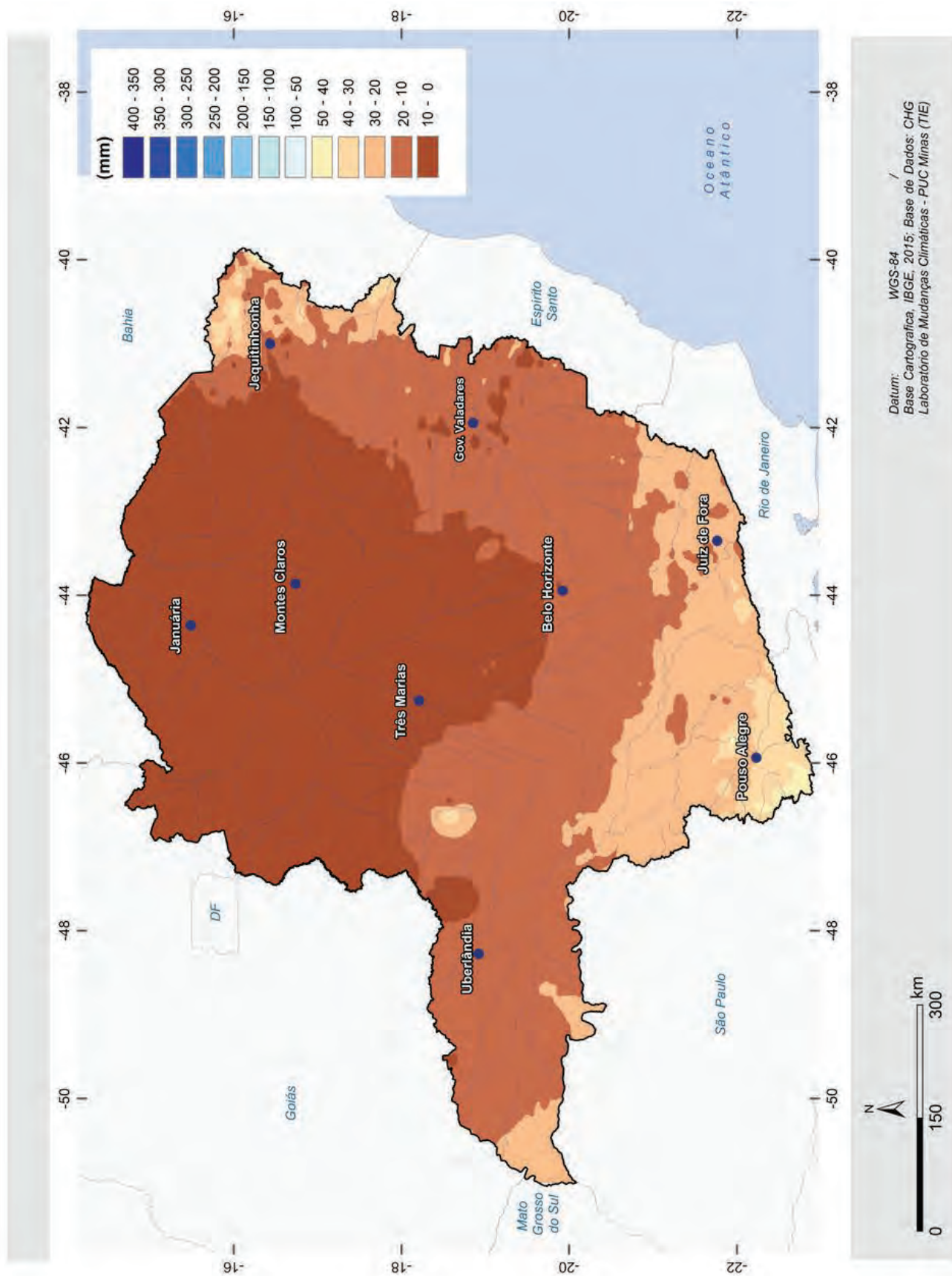
***Figura 9*. Mapa de precipitação média para o mês de junho.**
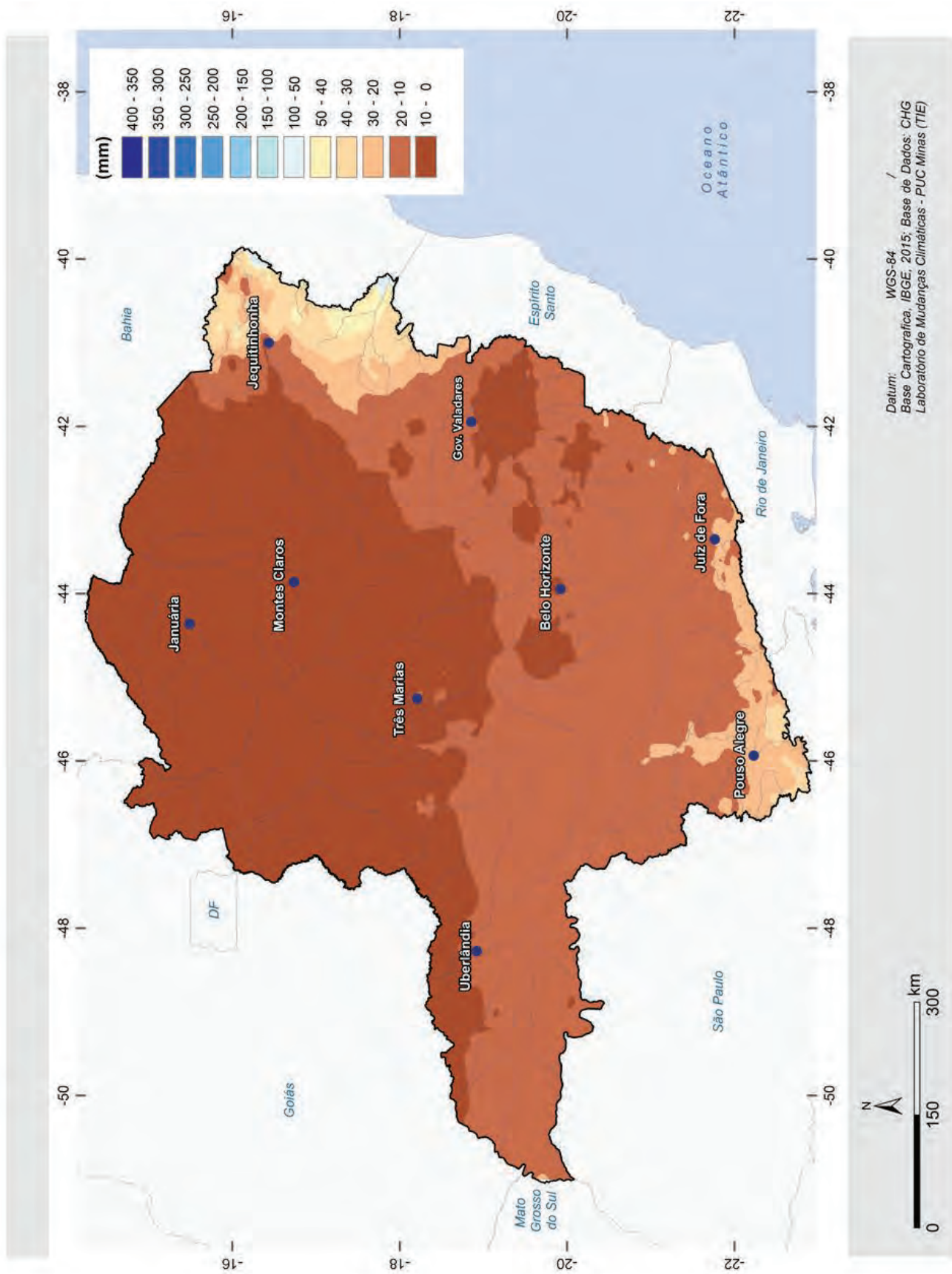
Figura 10 . *Mapa de precipitação média para o mês de julho.*
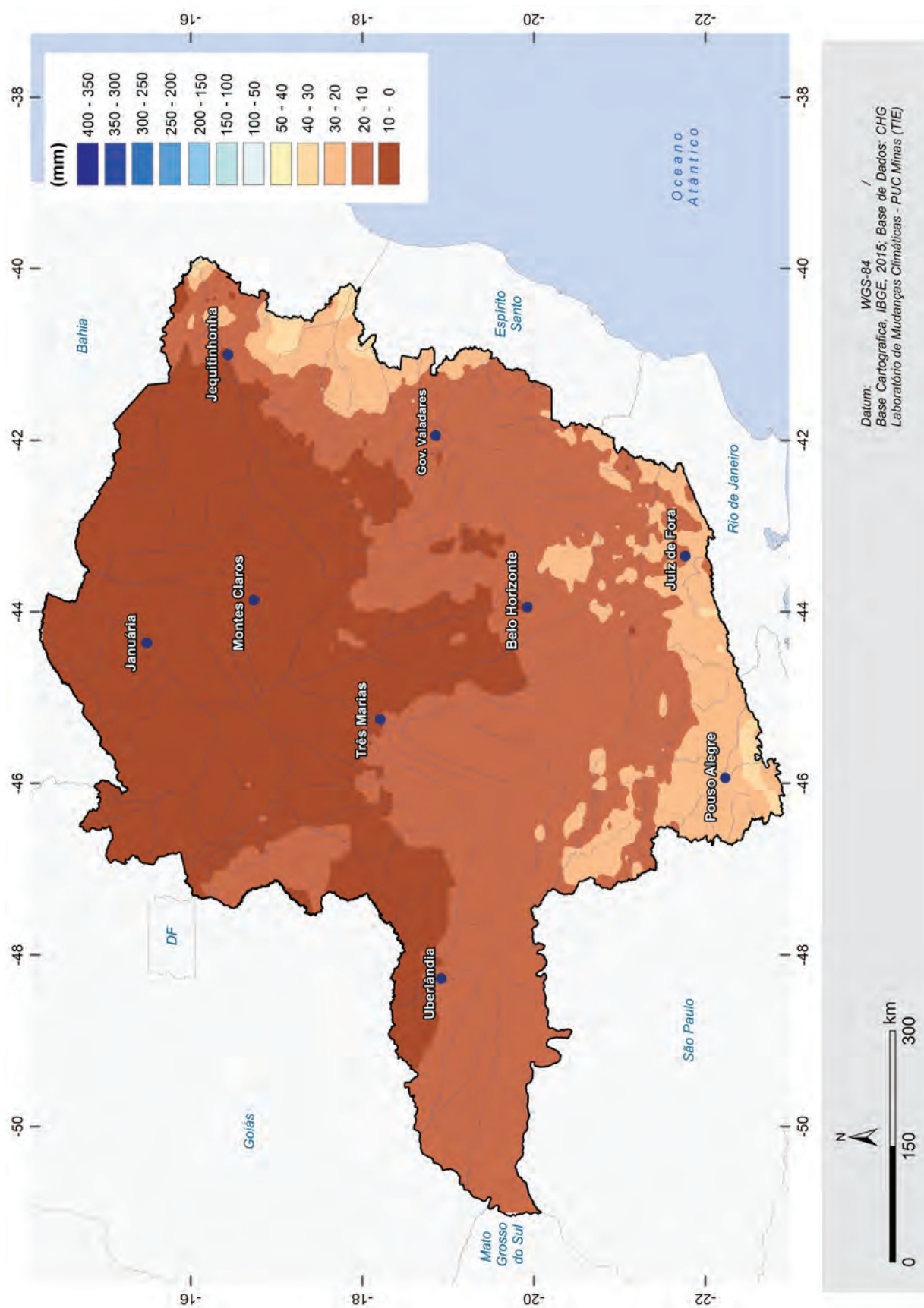
Figura 11 . *Mapa de precipitação média para o mês de agosto.*
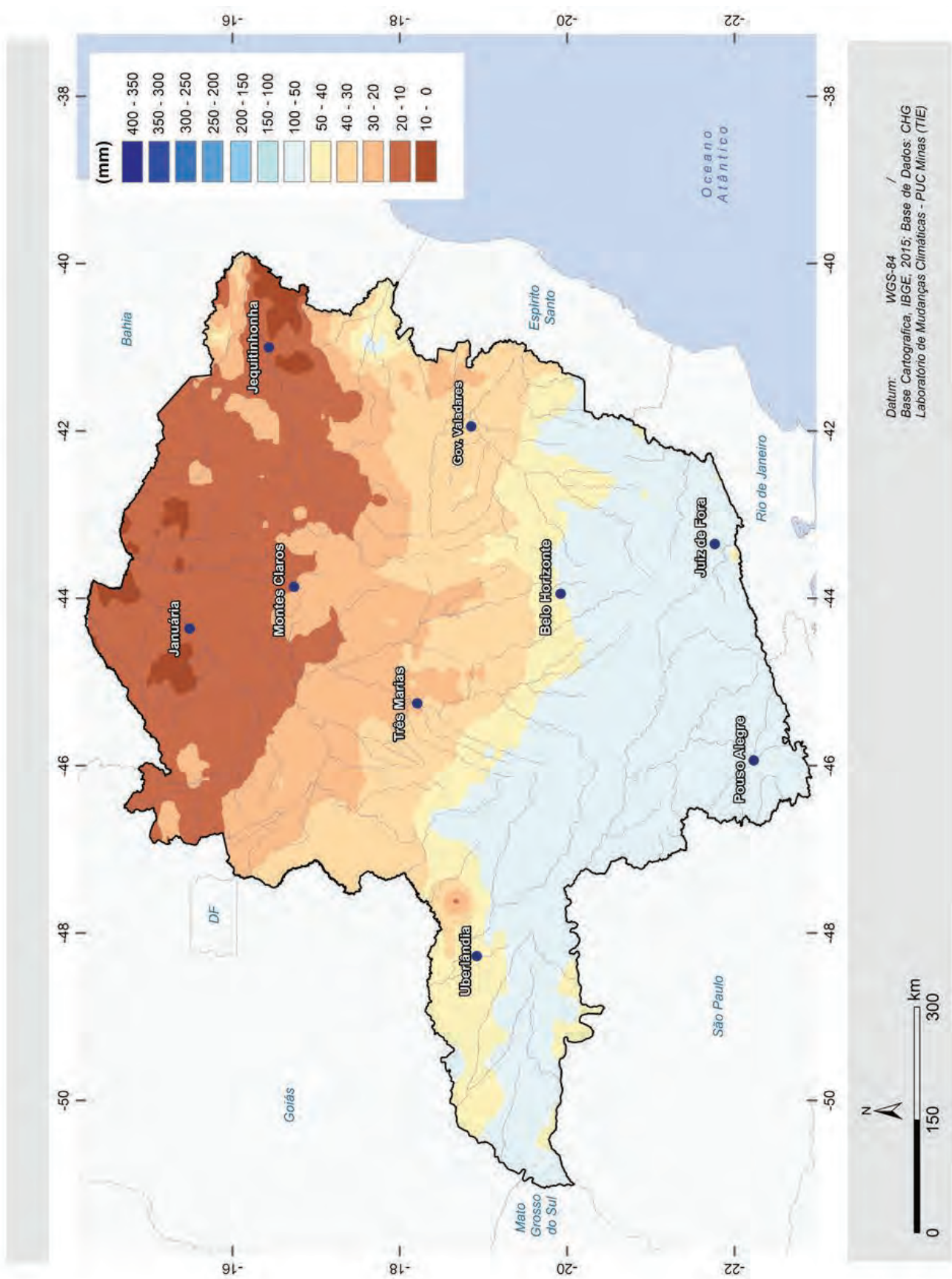
Figura 12 . Mapa de precipitação média para o mês de setembro.
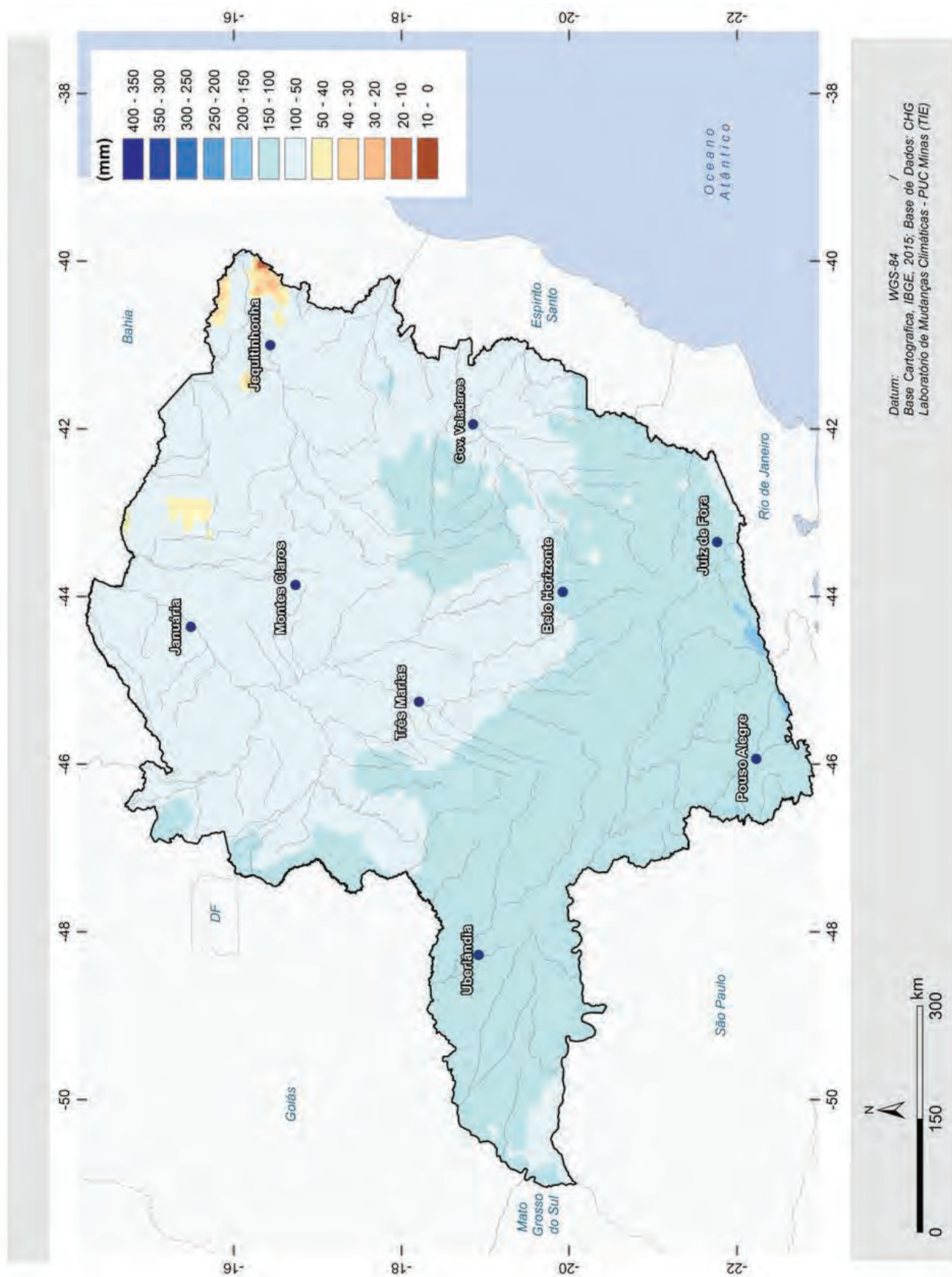
***Figura 13 .** Mapa de precipitação média para o mês de outubro.*
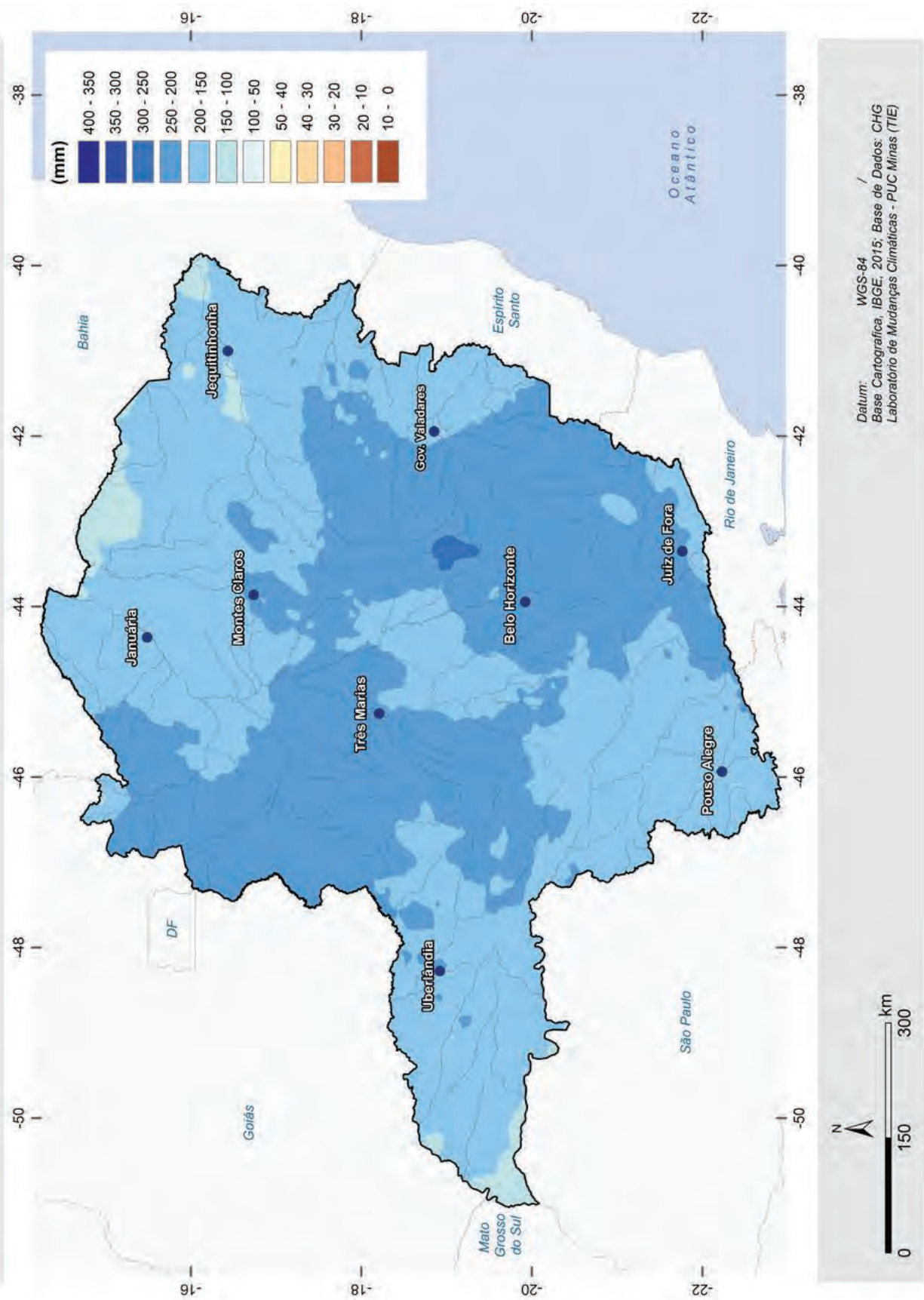
Figura 14 . *Mapa de precipitação média para o mês de novembro.*
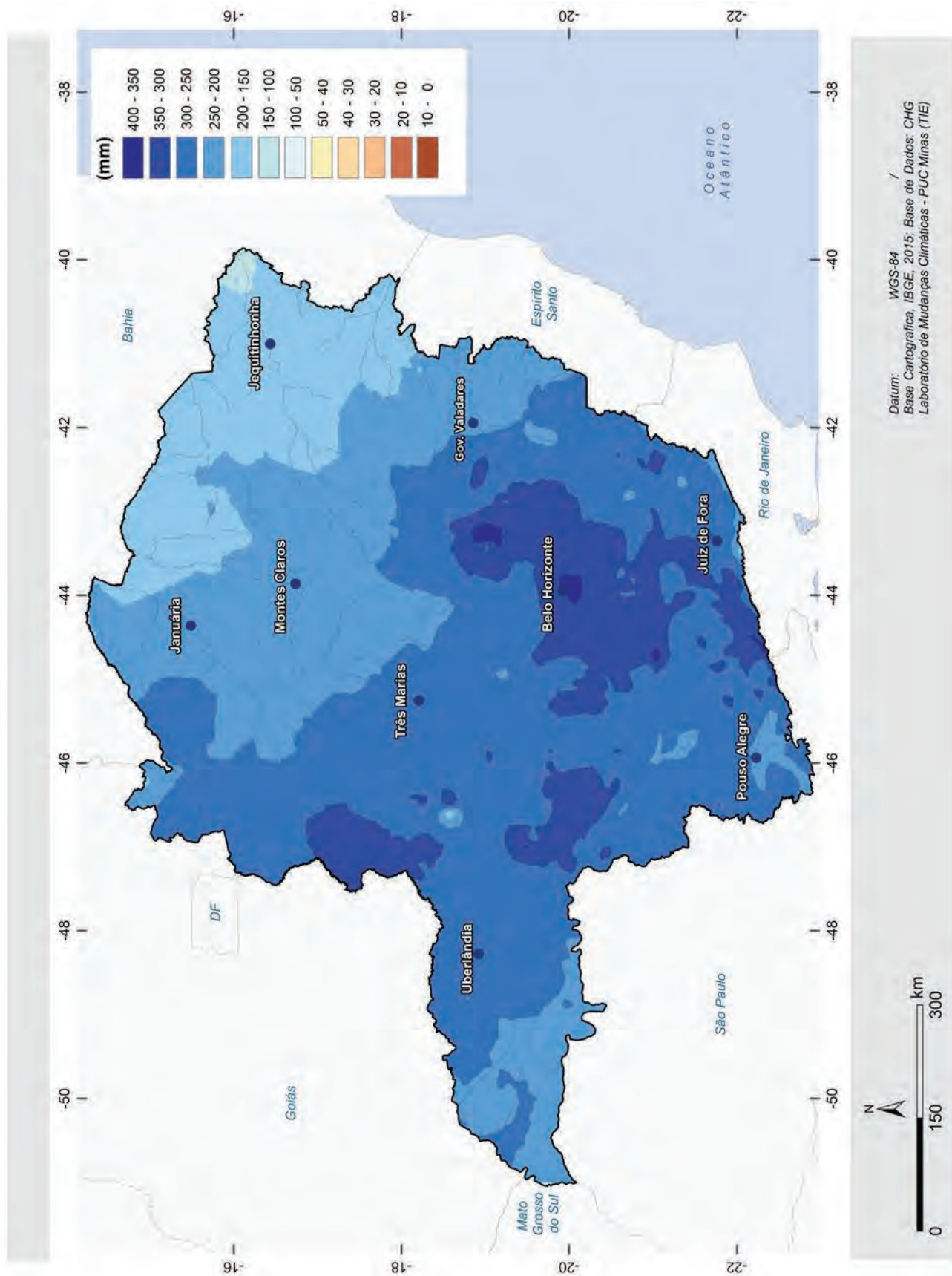
Figura 15. Mapa de precipitação média para o mês de dezembro.

1.2 CLIMA

A espacialização das temperaturas máximas e mínimas mensais no estado de Minas Gerais baseou-se nas séries históricas de 52 estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pertencentes ao Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP). A espacialização da temperatura foi efetuada a partir do estabelecimento de relações funcionais entre a temperatura mensal e a altimetria local obtida pelo modelo de elevação digital do terreno SRTM (Shuttle Radar Topography Mission), disponibilizado pela NASA (National Aeronautics and Space Administration). A localização geográfica e o tipo de relevo exercem influência nas temperaturas em Minas Gerais, onde predominam as maiores médias de temperatura máxima e mínima nas regiões Centro-Oeste, Noroeste e Triângulo. A variação da temperatura média anual nas áreas mais elevadas varia entre 17 a 20°C. Já nas áreas de menor altitude, a temperatura média anual varia de 20 a 23°C. As Figuras 16 e 17 apresentam a média das temperaturas máximas e mínimas anuais no estado de Minas Gerais, respectivamente, com base nos dados obtidos.
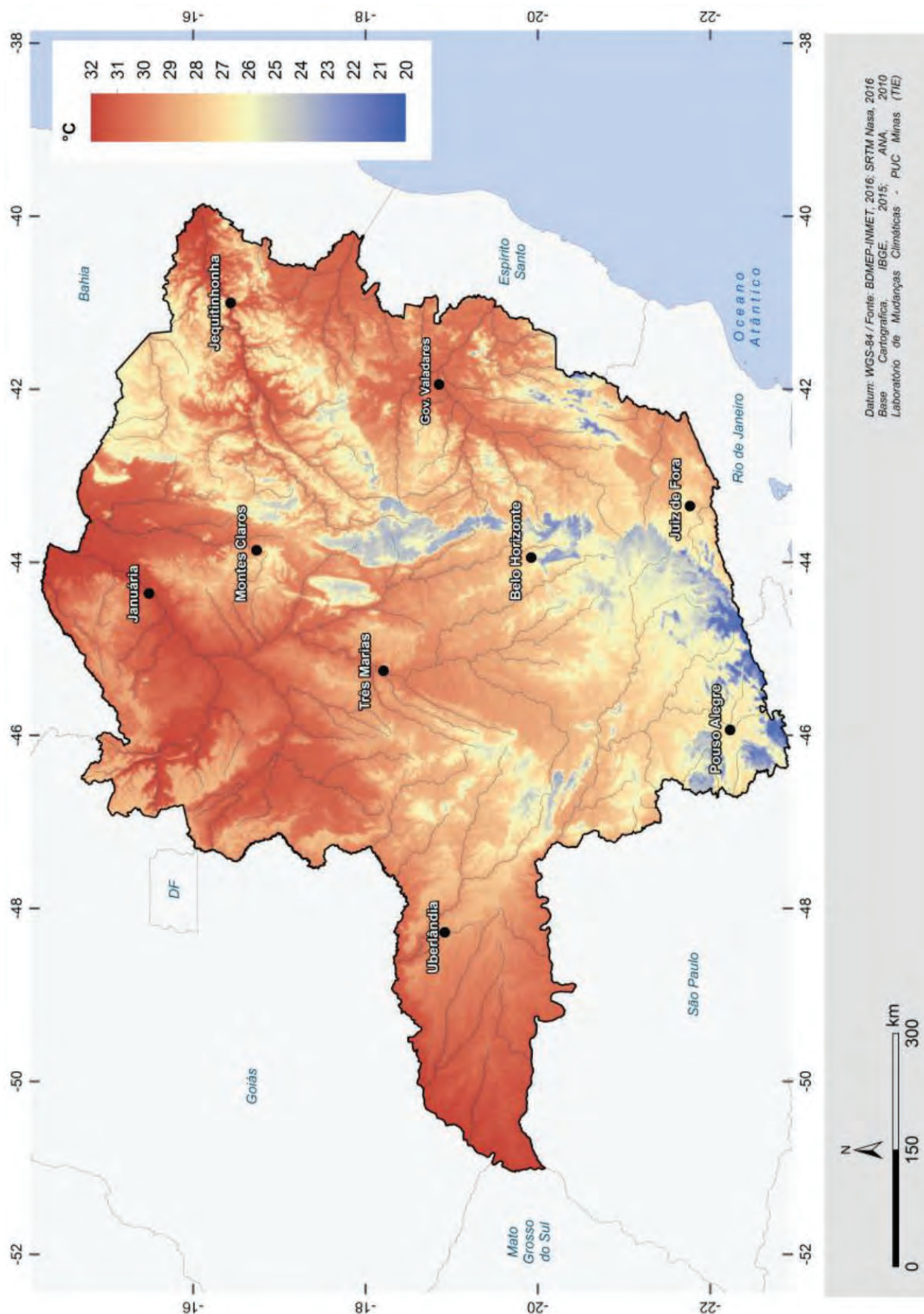
Figura 17 . Temperatura mínima média anual em Minas Gerais.

1.3
VIAS DE ACESSO

As condições reinantes de tempo durante longos períodos determinam a condição climática de uma região. A classificação climática de Köppen-Geiger é amplamente adotada para caracterizações climatológicas. A última atualização climática de Minas Gerais foi efetuada por Sá Júnior (2009), sendo identificadas as classes climáticas Aw (clima tropical de savana com estação seca de inverno), Cwa (clima temperado úmido com inverno seco e verão quente), Cwb (clima temperado úmido com inverno seco e verão moderadamente quente) e em menor escala as classes BSh (clima de estepe quente) e Am (clima tropical de monção). A Figura 2 ilustra as principais classes climáticas observadas em Minas Gerais.

Figura 18 . *Vias de acessos.*

1.4
DEMOGRAFIA E CONSUMO DE ENERGIA

Os dados do Censo Demográfico (IBGE, 2010) revelam que a população de Minas Gerais era de 19.597.330 em 2010, sendo que 16.715.216 de pessoas residiam na área urbana e 2.882.114 na área rural. Assim, o grau de urbanização de Minas Gerais era de 85,29% em 2010. A população estadual era formada por 9.641.877 homens e 9.955.453 mulheres.

A taxa média geométrica de crescimento anual da população de Minas Gerais, entre 2000 e 2010, foi de 0,91% a.a. contra 1,44% a.a. registrada entre 1991-2000. O crescimento da população é explicado pela evolução dos componentes da dinâmica demográfica: fecundidade, mortalidade e migração.

Assim, a Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) do IBGE mostra que Minas Gerais, em 2009, tinha a segunda menor Taxa de Fecundidade Total (TFT) do país: 1,67 filho por mulher, atrás apenas do Rio de Janeiro (1,63). A TFT do Brasil era de 1,94 filho por mulher em 2009. Em 2000, o Censo Demográfico do IBGE indicava que a TFT mineira era de 1,23, o que indica o franco declínio deste indicador no estado. A fecundidade mineira está abaixo do nível de reposição populacional (2,1), o que significa que, do ponto de vista apenas do crescimento vegetativo e sem considerar os movimentos migratórios, a população deverá diminuir nas próximas décadas caso os níveis de fecundidade se mantenham abaixo de 2,10 filhos por mulher, projeção bem plausível (IBGE, 2000; IBGE, 2009).

A análise da expectativa de vida ao nascer é importante para se ter uma boa noção do comportamento da mortalidade no estado. Em 2009, a expectativa de vida em Minas Gerais era de 75,1 anos. Para que se tenha uma base comparativa, o Distrito Federal e Santa Catarina ocupam o 1º lugar (75,8 anos) enquanto Alagoas (67,6 anos) aparece na última posição. Isto demonstra que um brasileiro nascido e residente em Minas Gerais, em 2009, tende a viver, em média, 7,5 anos a mais que um nascido em Alagoas e apenas 0,7 ano a menos do que um nascido nas duas unidades da Federação que ocupam o topo do ranking (IBGE, 2009).

De acordo com a PNAD 2009, das 17.332.000 pessoas que residiam em Minas Gerais nesse ano, 1.440.000 pessoas não eram naturais do estado. Ainda, 6.839.000 não eram naturais do município de residência no ano da pesquisa (IBGE, 2009).

A Figura 19 demonstra que, em 2010, a população mineira não está distribuída de maneira uniforme no território, uma vez que a microrregião de Belo Horizonte concentra 24,35% da população total de Minas Gerais. Outras microrregiões merecem destaque, sobretudo aquelas que abrigam as cidades médias mais dinâmicas do estado, como a microrregião de Uberlândia, no Oeste Mineiro, que é a segunda mais populosa de Minas Gerais, com 820.245 pessoas, o que corresponde a 4,19% do total.

Além disso, a microrregião de Uberaba também merece destaque, com 346.024 pessoas (1,77%) (IBGE, 2010). Na Zona da Mata, a microrregião de Juiz de Fora abriga o terceiro maior contingente populacional do Estado, com 728.602 pessoas (3,72%). No Sul, as microrregiões de Varginha e Poços de Caldas se destacam com uma população de 441.060 (2,25%) e 342.055 (1,75%) respectivamente (IBGE, 2010). No Norte mineiro, o Censo Demográfico (IBGE, 2010) revela que apenas a microrregião de Montes Claros apresenta expressivo contingente populacional, com 601.867 pessoas (3,07%). No Vale do Rio Doce, as microrregiões de Ipatinga (526.781) e Governador Valadares (415.696) também possuem estoques populacionais significativos.

Com relação ao consumo de energia elétrica, segundo o balanço energético publicado em 2010 para o estado, com ano base 2009 (Cemig – Companhia Energética de Minas Gerais – 25° Balanço Energético do Estado de Minas Gerais – BEEMG/2010 – ano base 2009), o consumo de energia elétrica cresceu progressivamente a partir de 2002. Destacando-se um aumento significativo da participação das fontes alternativas de energia. Do total da demanda estadual de energia, 55,2% referem-se a fontes renováveis de energia e o restante a fontes não renováveis. Em 2009, houve um crescimento de 9,5% em relação a 2008 na produção de energia hidráulica – 63.300 GWh (5.444 mil tep).

Foi observado que em 2009, 58,8% da demanda de energia no estado foi destinada ao setor industrial, enquanto o setor residencial representou 11,3%. O estado de Minas Gerais possui uma posição de destaque no cenário nacional quanto ao aproveitamento de energia solar. Em termos energéticos, a instalação de 1,58 milhões de m² de coletores solares em Minas Gerais representou uma capacidade instalada em 2009 de 1.105 MWth (1 m² de coletor instalado gera 0,7 kWth, que é a potência térmica aproveitada), o que significa uma economia, ou seja, energia elétrica evitada, de 1.327 GWh, ou um percentual de economia de 8,3% no ano de 2009. A Figura 19 ilustra a distribuição da população residente em Minas Gerais por microrregião e do consumo de energia elétrica faturado no estado em 2010. Observa-se que as microrregiões menos povoadas e com menor consumo estão localizadas no Norte, Noroeste e parte do Nordeste mineiro. Os principais centros consumidores e com maior população situam-se na região metropolitana de Belo Horizonte e seu entorno, na zona da mata em Juiz de Fora, no triangulo mineiro em Uberlândia, Uberaba e Araxá, destacando-se também as microrregiões do setor siderúrgico minerário como Ipatinga, Itabira, Ouro Preto e Conselheiro Lafaiete.

1.4 DEMOGRAFIA E CONSUMO DE ENERGIA
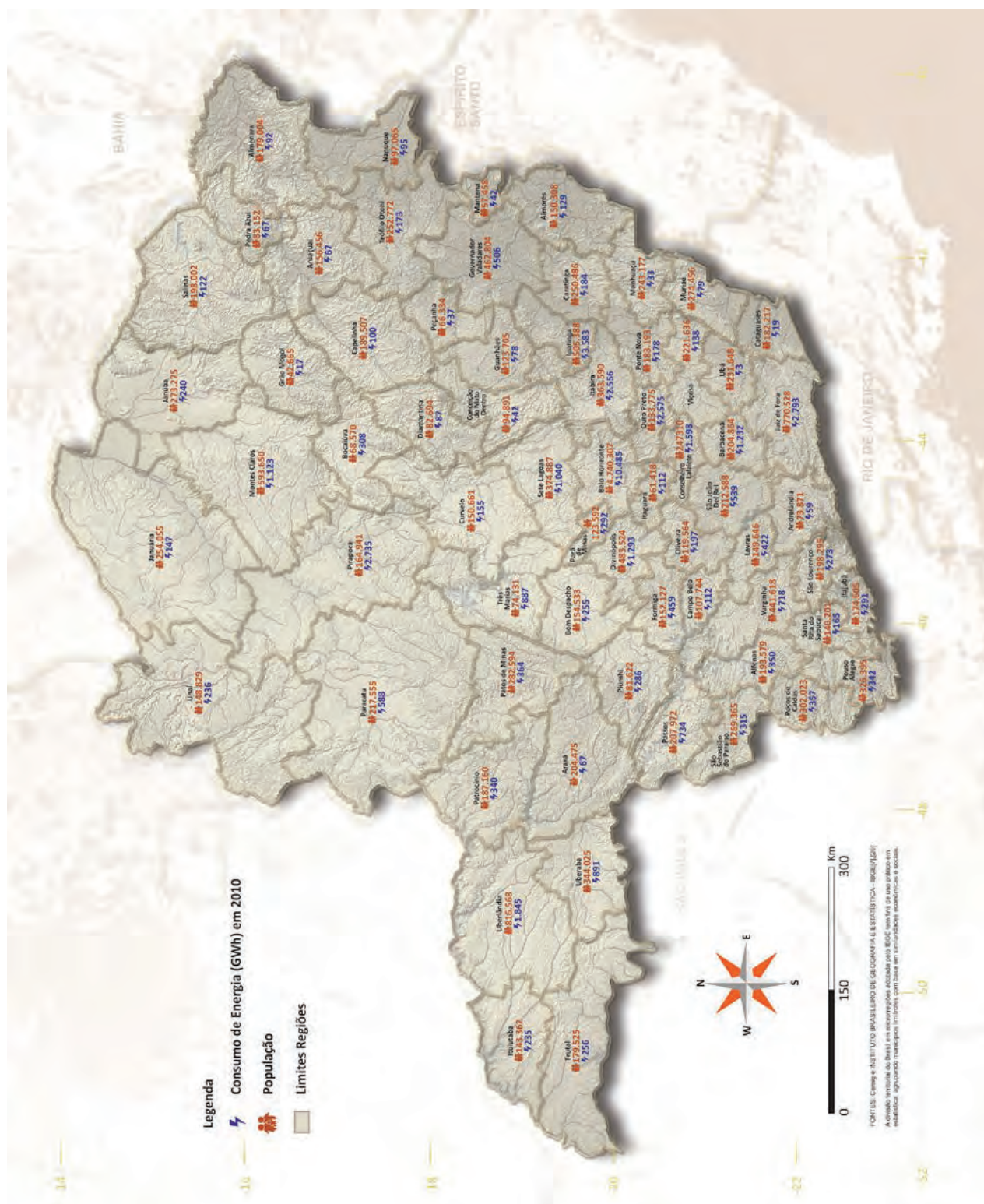
Figura 19 . População residente em Minas Gerais por microrregião e do consumo de energia elétrica.

1.5
UNIDADES DE CONSERVAÇÃO E TERRAS INDÍGENAS

As unidades de conservação (UCs) públicas (federais, estaduais e municipais) e particulares são protegidas por leis com o intuito de preservar as riquezas naturais para as gerações futuras. Existem várias categorias de UCs, com estrutura de funcionamento adequada ao seu propósito: parques, reservas biológicas, estações ecológicas, reservas particulares de patrimônio natural, entre outras. Minas Gerais possui atualmente 4,58 milhões de ha de áreas protegidas, distribuídas por 430 UCs cadastradas no Instituto Estadual de Florestas (IEF), o que corresponde a 7,8% do território mineiro. Diante das restrições legais e da abrangência das UCs no Estado, a implantação de projetos energéticos deve sempre levar em consideração o mapeamento das áreas protegidas para evitar impedimentos de ordem ambiental.

1.6
CONCLUSÕES

Este primeiro capítulo teve por objetivo, apresentar ao leitor um pouco das principais características de Minas Gerais. Devido sua posição, o estado possui 5 tipos climáticos predominantes: tropical de monção; tropical de savana com estação seca de inverno; de estepe quente; temperado úmido com inverno seco e verão quente e temperado úmido com inverno seco e verão moderadamente quente. As séries históricas de precipitação utilizadas no projeto foram fornecidas pela Cemig, pelo Serviço Geológico do Brasil (CPRM), pelo Instituto Mineiro de Gestão de Águas (Igam), pelas Centrais Elétricas Brasileiras (Eletrobras), por Furnas e pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

As temperaturas máximas e mínimas locais mensais foram fundamentadas em dados obtidos em 52 estações meteorológicas. Para efeito de estudo, fatores como localização geográfica e tipo de relevo foram considerados como determinantes, uma vez que exercem influência na temperatura de uma determinada região. No Estado de Minas Gerais, onde predominam as maiores médias de temperatura (máximas e mínimas) são as regiões Centro-Oeste, Noroeste e Triângulo. A variação anual de temperatura vai de 17°C a 20°C em regiões mais elevadas e de 20°C a 23°C em locais de menor altitude. Na Figura 22 é apresentada uma das estações utilizadas, instaladas na cidade de Diamantina (MG). Esta estação é completamente instrumentada e automatizada, de forma a coletar e tratar as informações de forma melhor e mais eficiente, possibilitando diversas análises.

1.6 CONCLUSÕES

O estado possui 8.957 km de rodovias federais e 26.604 km de rodovias estaduais, sendo que aproximadamente 8.000 km não são pavimentados. Já malha ferroviária possui cerca de 5.000 km. Minas Gerais apresenta também muitos trechos navegáveis em rios e uma infraestrutura aeroportuária semelhante à dos outros estados brasileiros.

A infraestrutura do sistema elétrico do estado possui mais de 370 empreendimentos em operação, com uma potência instalada de quase 20.000 MW. A Cemig é a principal concessionária estadual atendendo a 805 dos 853 municípios, por meio de uma rede de distribuição acima de 400 mil km de extensão. O conhecimento desta infraestrutura permite verificar a necessidade de investimentos de interconexão e também identificar o ponto de partida para estudos de impactos na rede pela implantação de sistemas de produção de eletricidade.

A população estadual é formada por 9.641.877 de homens e 9.955.453 de mulheres, que registram um grau de urbanização de 85,29%. A taxa média geométrica da população de crescimento anual entre os anos 2001-2010 foi de 0,91% a.a. O crescimento populacional é explicado pela evolução dos componentes da dinâmica demográfica: fecundidade, mortalidade e migração.

Após análise das características geográficas, das condições climáticas, das vias de acesso, além do consumo de energia elétrica e das unidades de conservação presentes no estado de Minas Gerais, foram obtidas informações valiosas para determinar locais estratégicos para implantação das estações meteorológicas.

As estações meteorológicas coletam normalmente dados de precipitação, umidade, vento, pressão atmosférica e em algumas, consideradas Climatológicas Principais, os dados de radiação solar global e o número de horas de sol no dia. O Instituto Nacional de Meteorologia – INMET não faz normalmente uma climatologia desses dois parâmetros, pois, apesar deles serem importantes para a agricultura, as informações coletadas pelos instrumentos que são utilizados possuem baixa confiabilidade. Em 2008, o INMET começou a instalar uma rede de estações meteorológicas automáticas, com medição horária da radiação solar global. Para os estudos climatológicos apresentarem boa confiabilidade, o banco de dados deve possuir no mínimo 30 anos de coleta.

Estações meteorológicas com medições de radiação solar global, direta e difusa existem somente para fins de pesquisa no Brasil. Normalmente, os pesquisadores fazem campanhas de dados, com coletas durante uma ou mais estação do ano. O projeto de pesquisa do Atlas Solarimétrico de Minas Gerais instalou cinco estações meteorológicas com medições de todos os parâmetros, e os dados foram coletados por um período de três anos.

ESTAÇÕES SOLARIMÉTRICAS

Rinaldo de Oliveira Melo

Luís Guilherme Monteiro Oliveira

Chigueru Tiba

Ruibran Januário dos Reis

O principal objetivo da pesquisa foi o desenvolvimento de um sistema de cálculo para determinar o potencial de aproveitamento energético da energia solar em usinas de grande porte. Entre os produtos desse projeto, encontra-se o Atlas Solarimétrico de Minas Gerais I. A metodologia básica para o desenvolvimento dessa pesquisa foi a experimentação (computacional), baseada no estado da arte da tecnologia e tendo em consideração as metas do projeto, que por sua vez encontram-se alinhadas com a visão estratégica da concessionária de energia.

Para o desenvolvimento da pesquisa foi necessário a instalação de cinco estações meteorológicas completas, denominadas aqui de estações solarimétricas, por conter instrumentos modernos para medições da radiação global, radiação direta e radiação difusa.

Este capítulo destina-se a relatar os detalhes de como foram instaladas e operadas, cada uma das estações solarimetricas implementadas durante o projeto, com o objetivo de se obter registros e referências para futuras manutenções e alterações

2.1 ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA DE SETE LAGOAS

Nome, local e proprietário da estação

A estação solarimétrica, denominada de Estação Sete Lagoas, foi instalada na Avenida 7, número 1321, no bairro Cidade de Deus, na cidade de Sete Lagoas – MG, tendo como proprietário a Companhia Energética de Minas Gerias (Cemig). A Tabela 1 mostra as coordenadas da estação para o padrão SIRGAS200 / UTM E, N e a Figura 20 a área onde foi instalada a estação solarimétrica.

Latitude	Longitude	Desvios/ Lat/Longitude (metros)	Leste (metros)	Norte (metros)	Fuso	Altitude (metros)
-19º24’34,7951’’	-44º12’0,0378’’	0,00000	583992,755	7853648,106	23	757

Tabela 1 . Coordenadas SIRGAS 200 / UTM E,N.

1.6 ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA DE SETE LAGOAS

Fonte: Google Earth

Figura 20 . Área de instalação da Estação Solarimétrica de Sete Lagoas (círculo tracejado de cor vermelha).

DESCRIÇÃO GERAL DA ESTAÇÃO

A estação de medidas solarimétricas foi projetada com o objetivo de minimizar os efeitos causados por possíveis sombreamentos decorrentes das obras civis existentes no local. O conjunto de sustentação do aparato de medidas foi montado no solo, correspondendo a um poste (tubo galvanizado de 3 polegadas de diâmetro e altura de 11 metros) onde foram montados um anemômetro/biruta, no topo, e o quadro de abrigo dos sistemas de medição e telemetria automatizados. Há, também, duas bases de sustentação independentes: uma destinada a suportar o equipamento de rastreamento do sol e sustentação dos radiômetros, SOLYS 2 / Kipp & Zonen, e outro para dar suporte ao pluviômetro. A estação encontra-se montada em local protegido por segurança privada.

INSTALAÇÃO

A instalação da estação solarimétrica foi realizada em abril de 2013. A seguir são apresentadas as descrições dos aparatos e sensores do sistema de aquisição de dados (datalogger).

O mastro utilizado é um tubo de 3'', cilíndrico em aço galvanizado, com 11 metros de comprimento; enterrado a 1 metro de profundidade, e portanto, com 10 metros de altura em relação ao solo, cuja a principal função é servir de apoio para fixação dos seguintes instrumentos: anemômetro/biruta, termohigrômetro e caixa de abrigo do datalogger com sistema de telemetria. A Figura 21 mostra como foi realizada a instalação do equipamento.

Figura 21 . Mastro instalado na localidade.

1.6 ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA DE SETE LAGOAS

A base do rastreador solar foi confeccionada com uma chapa em perfil quadrado de aço carbono. A estrutura da base foi fixada ao solo utilizando concreto. No caso da instalação do pluviômetro, a base foi fixada em bloco de concreto, utilizado tubo cilíndrico de 3'' e apoio circular em aço galvanizado. A Figura 22 mostra as bases do rastreador solar e do pluviômetro.
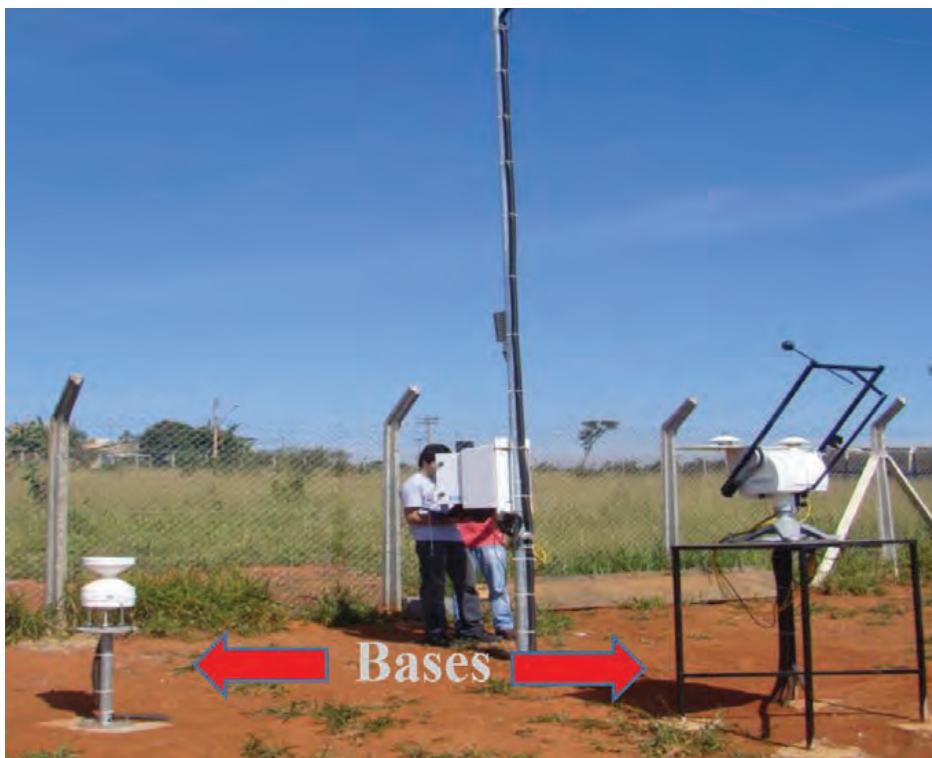
Figura 22 . Base para rastreador solar.
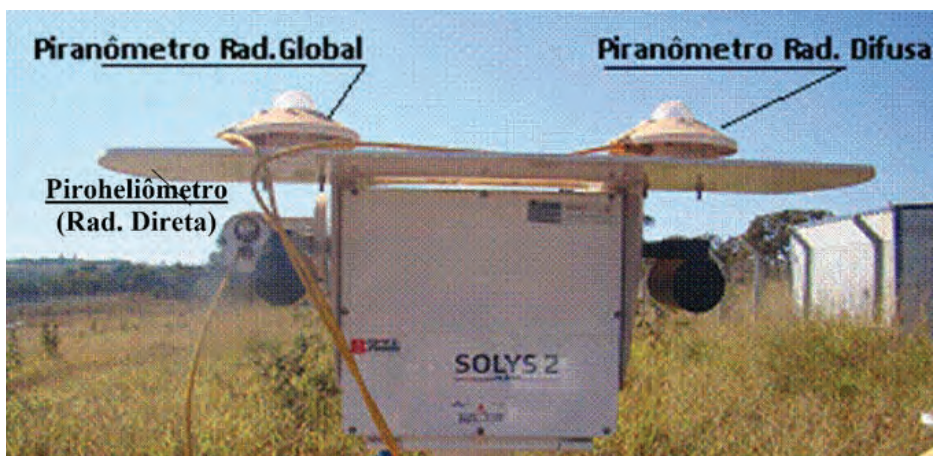
Figura 23 . Piranômetros CMP-21 (padrão secundário) e piroheliômetro CHP1, acoplados ao rastreador solar SOLYS 2, para a medição da radiação global, radiação difusa e radiação direta, respectivamente.

As Figuras 23, 24 e 25 mostram fotos da instrumentação detalhadas dos sensores utilizados nas estações solarimétricas.
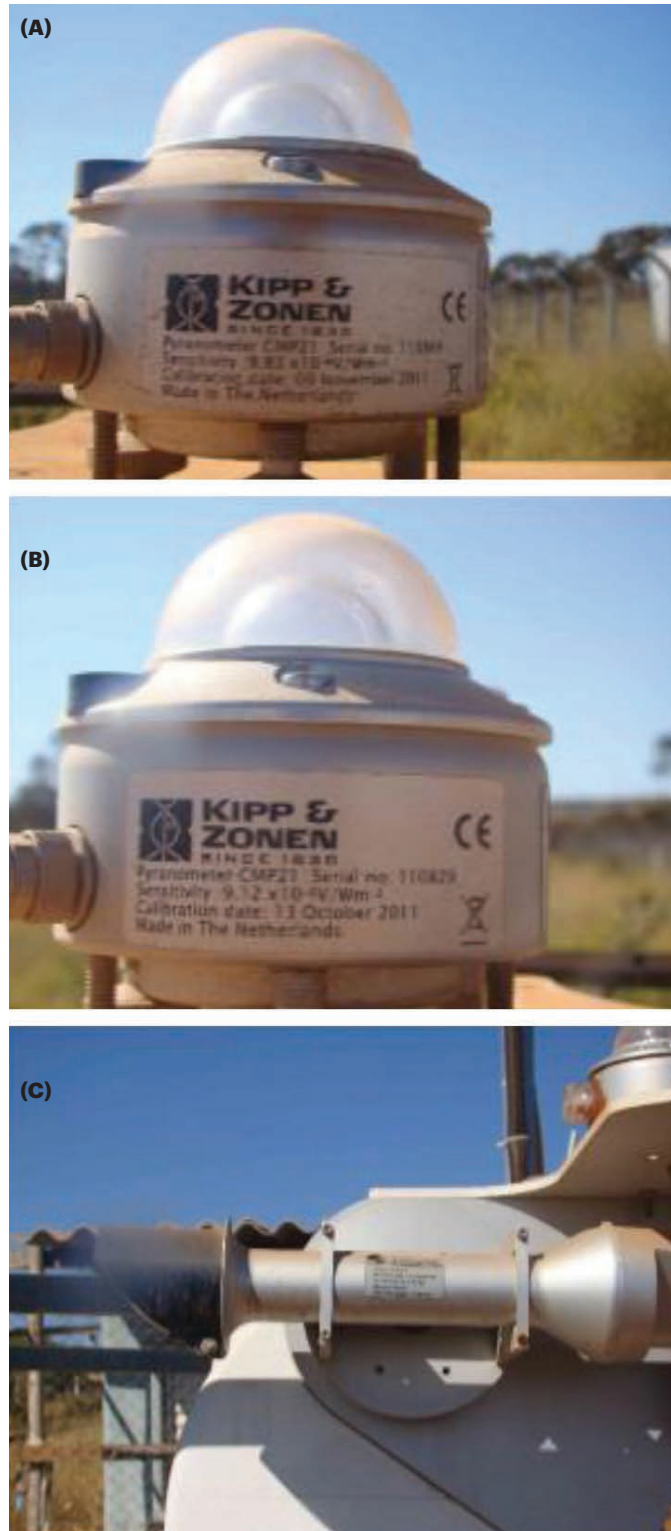
Figura 24 . (A) detalhe piranômetro CMP 21, radiação global; (B) detalhe piranômetro CMP 21, radiação difusa; (C) detalhe piroheliômetro CHP1, radiação direta. Todos instalados a 1,70 metros em relação ao solo.

1.6 ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA DE SETE LAGOAS

Figura 25 . ***(A) detalhe termohigrômetro HMP-155, umidade relativa do ar e temperatura ambiente, instalado à 2,0 metros em relação ao solo; (B) anemômetro/Biruta SD1-12, direção e velocidade do vento instalado a 10 metros em relação ao solo; (C) pluviômetro QMR-102, precipitação instalado a 0,5 metro em relação ao solo.***

SISTEMA DE AQUISIÇÃO DE DADOS (DATALOGGER) / TELEMETRIA

A Tabela 2 e a Figura 26 mostram os equipamentos de telemetria e o sistema de aquisição de dados, respectivamente. Cabe salientar que as informações técnicas do sistema de aquisição de dados, modem e suas interligações poderão ser visualizadas na seção Anexos deste livro.

DATA DE INSTALAÇÃO: 08/05/2013		
Item	**Descrição**	**Quantidade**
1	Modem GPRS Cinterion MC55i	01
2	Antena de transmissão de sinal do sistema de telemetria	01
3	Operadora celular: Vivo	01

Tabela 2 . Equipamentos de telemetria.
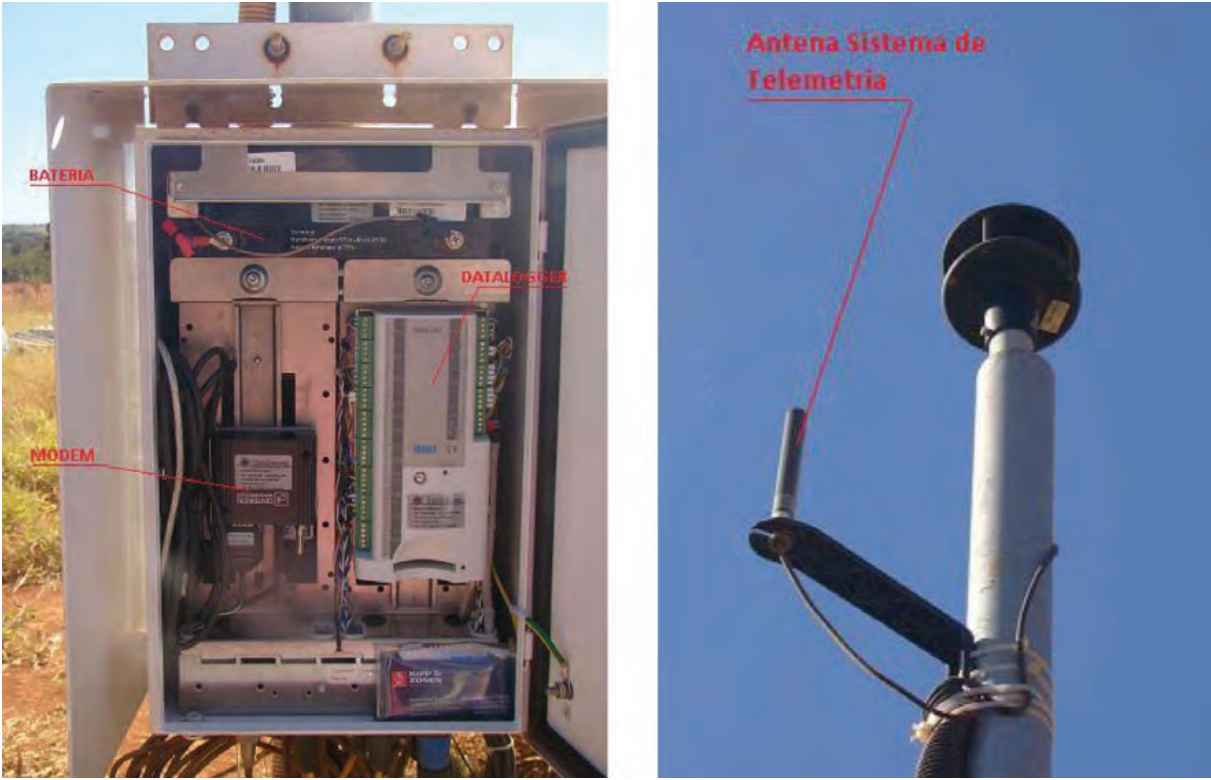
Figura 26 . (A) Modem GPRS / "datalogger", instalados à 1,0 metro em relação ao solo; (B) Antena de transmissão dos dados instalada à 9,5 metros em relação ao solo.

1.6 ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA DE SETE LAGOAS

SISTEMA DE REGISTRO DE DADOS

Os dados armazenados no sistema de medição (datalogger) são transmitidos pelo sistema de telemetria para o servidor (por modem) via FTP, *file transfer protocol*. Para acessar os dados, foi utilizado o software Core FTP Lite, conforme mostra a Figura 27.
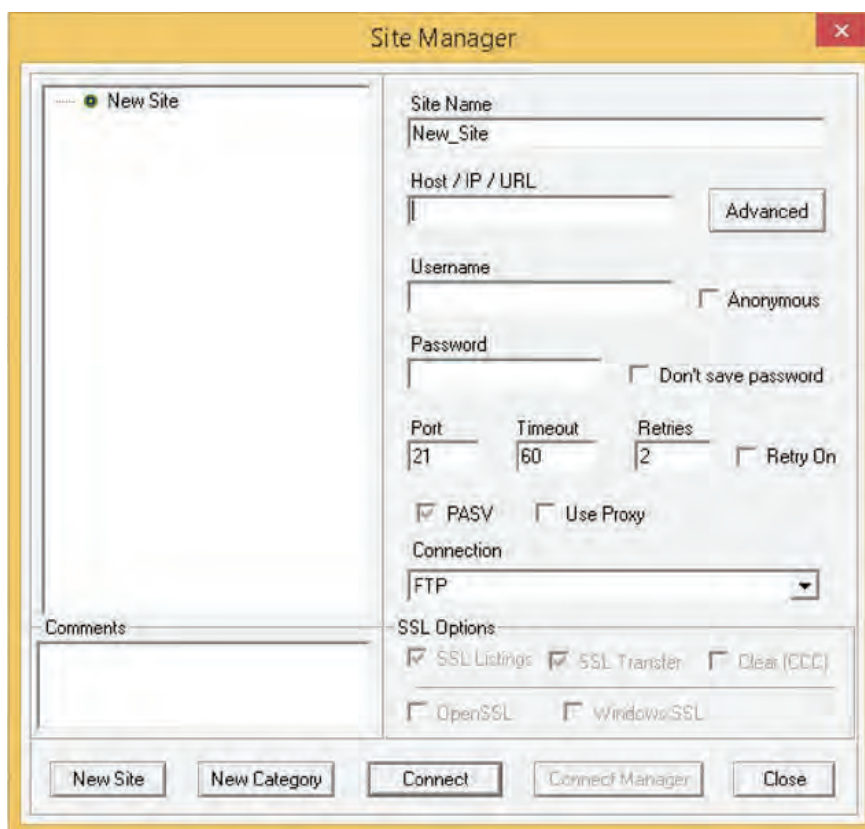
Figura 27 . ***Tela de gerenciamento do software Core FTP Lite onde os campos devem ser preenchidos com informações de hospedagem, usuário e senha.***

Como apresentado na Figura 27, na janela *Site Manager* o campo Host / IP/ URL deverá ser preenchido com o endereço de FTP específico. Os campos *Username* e *Password*, deverão ser preenchidos com o *login* e senhas apropriadas respectivamente. Após o clicar o botão "OK" será apresentada uma nova tela de *login* onde deverá ser novamente digitado o *Username e Password*. Essas informações liberarão o acesso aos dados armazenados da estação de medidas solarimétricas. A Figura 28 mostra a tela de acesso aos dados coletados. Os dados da pesquisa tiveram acesso restrito aos pesquisadores.
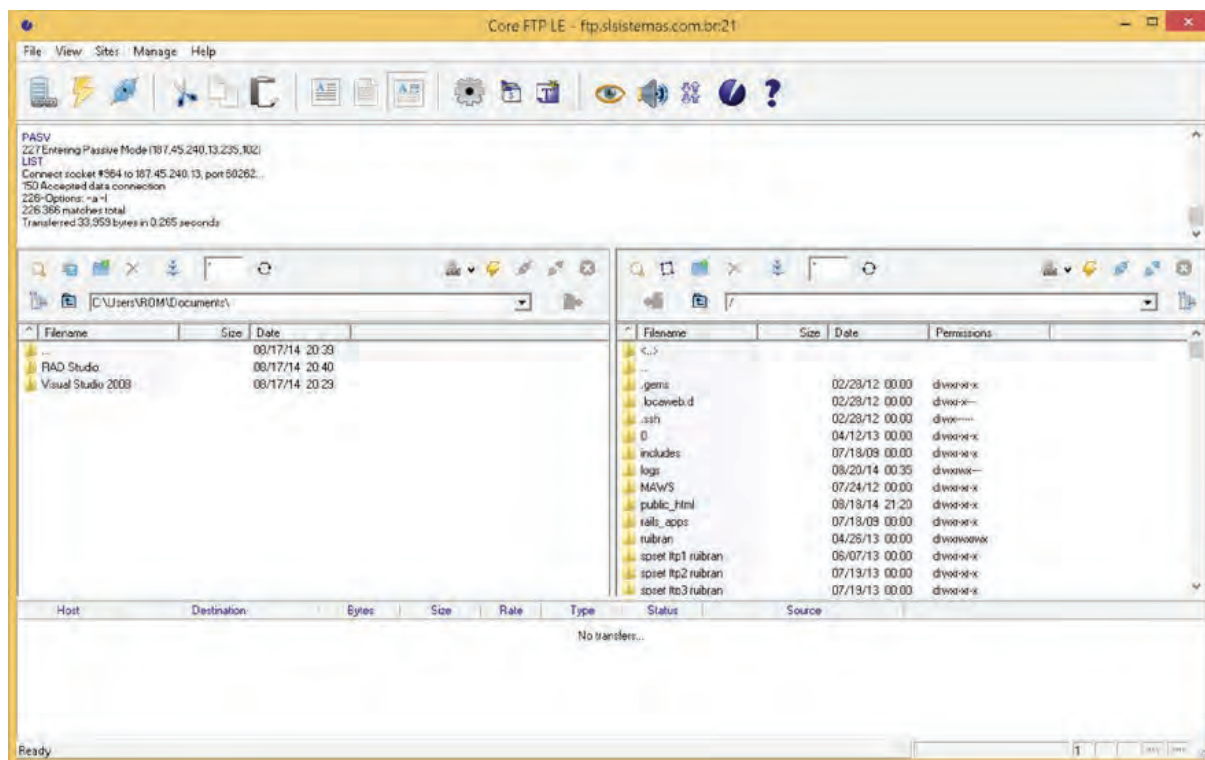
Figura 28 . ***Tela de acesso aos dados.***

2.2
ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA DE DIAMANTINA

A estação solarimétrica, denominada de Estação Diamantina, foi instalada no *Campus* da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri (UFVJM) no Laboratório de Meteorologia e Climatologia da Faculdade de Ciências Agrárias (FCA), na cidade de Diamantina – MG. A Tabela 3 mostra as coordenadas da estação para o padrão SIRGAS200 / UTM E, N e a Figura 29 a área onde foi instalada a estação solarimétrica.

Latitude	Longitude	Desvios/ Lat/Longitude (metros)	Leste (metros)	Norte (metros)	Fuso	Altitude (metros)
-18º20'0,2825'	-43º57'0,0649''	0,00000	583907,655	7853673,106	23	1404

Tabela 3 . ***Coordenadas SIRGAS200 / UTM E, N.***

Fonte: Google Earth

Figura 29 . ***Área de instalação da estação solarimétrica de Diamantina.***

A Estação Solarimétrica de Diamantina foi instalada em julho de 2012. Os instrumentos e os processos de aquisição e armazenamento dos dados seguiram o mesmo padrão da estação solarimétrica de Sete Lagoas. A Figura 30 mostra a Estação Solarimétrica Diamantina.
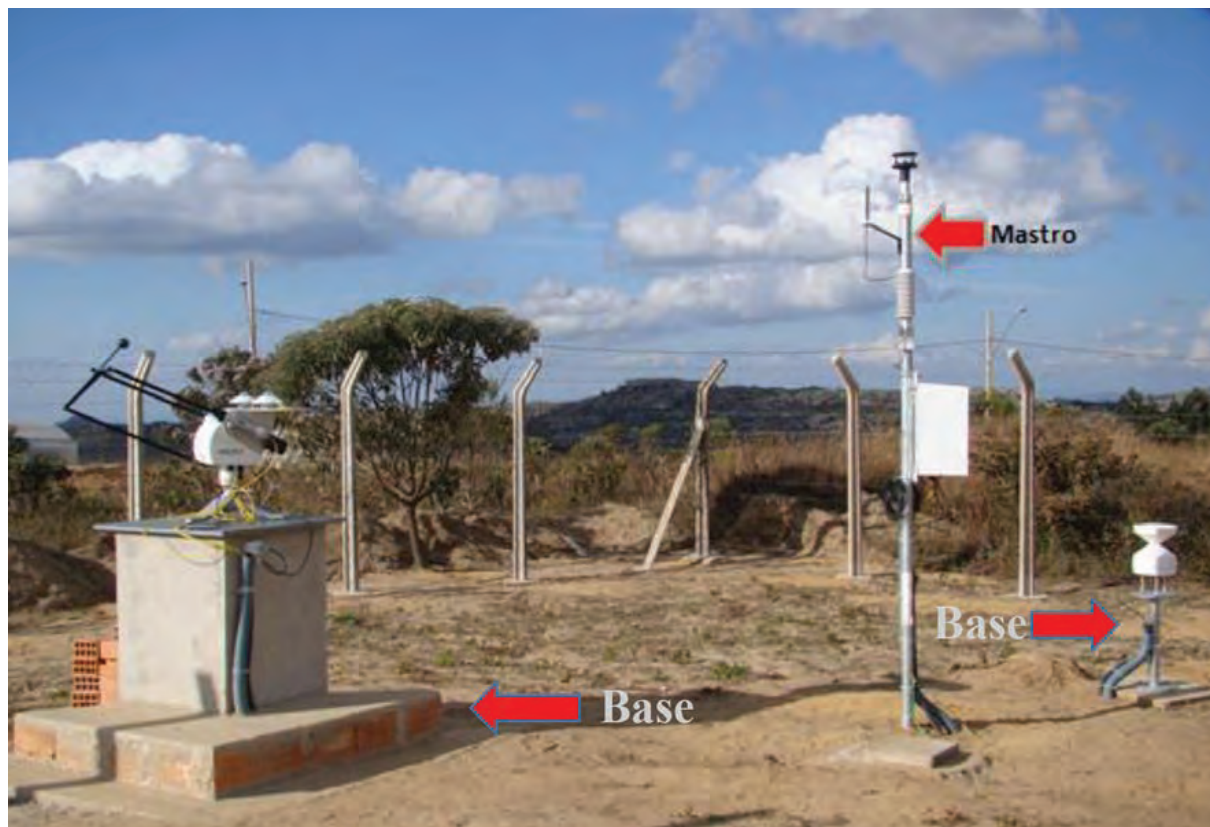
Figura 30 . Estação Solarimétrica de Diamantina.

2.3
ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA DE PARACATU

A estação solarimétrica, denominada de Estação de Paracatu, foi instalada em área onde está instalada a estação meteorológica do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Campus da Faculdade do Noroeste de Minas (FINOM), na cidade de Paracatu – MG. A Tabela 4 mostra as coordenadas da estação para o padrão SIRGAS200 / UTM E, N e a Figura 31, a área onde foi instalada a estação solarimétrica.

Latitude	Longitude	Desvios/ Lat/Longitude (metros)	Leste (metros)	Norte (metros)	Fuso	Altitude (metros)
-17º24'41,93'	-46º88'0,1739''	0,00000	583907	7853673,110	23	715

Tabela 4 . Coordenadas SIRGAS200 / UTM E, N.

Fonte: Google Earth

Figura 31 . Área de instalação da estação solarimétrica de Paracatu.

A Figura 32 mostra o mastro na localidade com o sensor instalado, bem como a estrutura do INMET utilizada para acoplamento do “datalogger”, antena de telemetria e termohigrômetro. A estação solarimétrica de Paracatu foi instalada em julho de 2012. Os instrumentos e processos de aquisição e armazenamento dos dados seguiram o mesmo padrão da Estação Solarimétrica de Sete Lagoas.
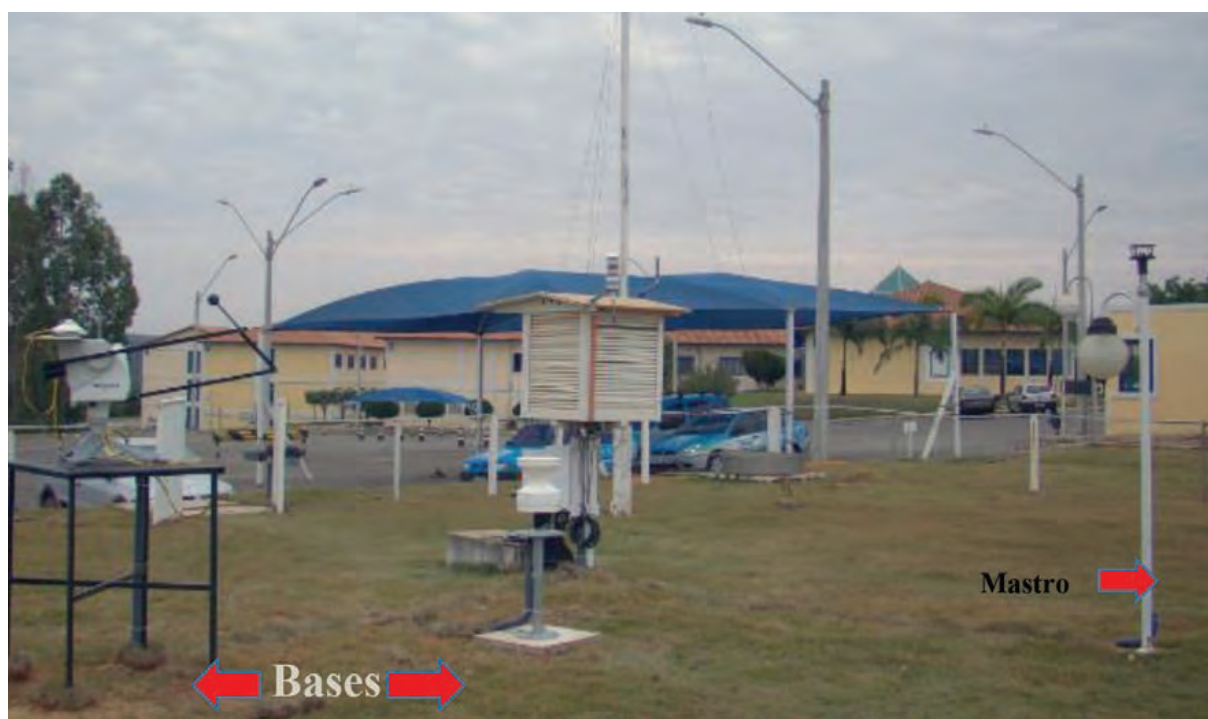
Figura 32 . *Vista da estação solarimétrica e da estação climatológica do INMET.*

2.4

ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA DE UBERLÂNDIA

A estação solarimétrica, denominada de Estação Uberlândia, foi instalada no espaço destinado ao Laboratório de Climatologia do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), na cidade de Uberlândia – MG. A Tabela 5 mostra as coordenadas da estação para o padrão SIRGAS200 / UTM E, N e a Figura 33, a área onde foi instalada a estação solarimétrica.

Latitude	Longitude	Desvios/ Lat/Longitude (metros)	Leste (metros)	Norte (metros)	Fuso	Altitude (metros)
-18º91′71,19′	-48º25′0,5634′′	0,00000	583907	7853673	23	869

Tabela 5 . ***Coordenadas SIRGAS200 / UTM E, N.***

Figura 33 . ***Área de instalação da estação solarimétrica de Uberlândia (círculo de cor vermelha).***

A estação solarimétrica de Uberlândia foi instalada em dezembro de 2012. Os instrumentos e processos de aquisição e armazenamento dos dados seguiram o mesmo padrão da estação solarimétrica de Sete Lagoas. A Figura 34 mostra a estação solarimétrica.
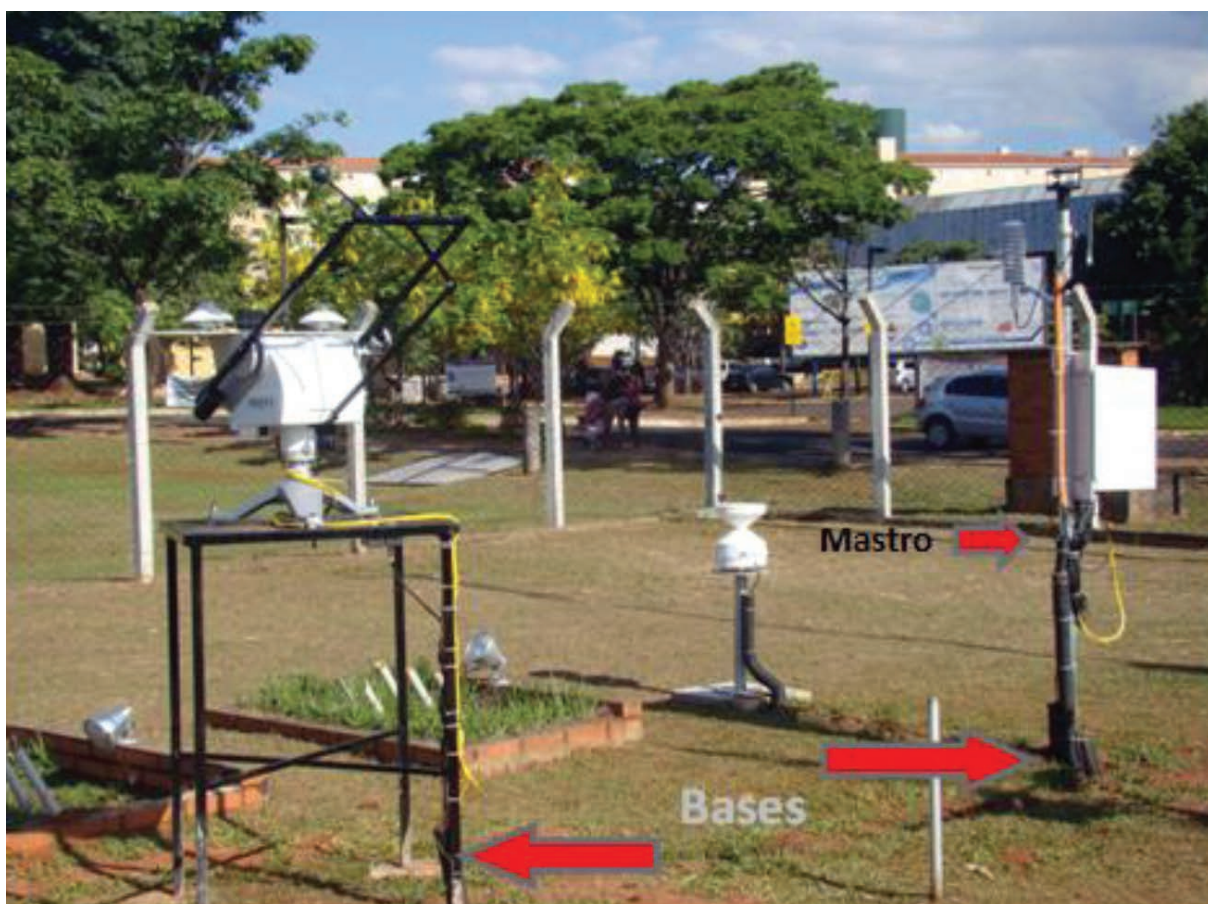
Figura 34 . ***Estação solarimétrica de Uberlândia.***

2.5

ESTAÇÃO SOLARIMÉTRICA DE JAÍBA

A estação solarimétrica, denominada de Estação Jaíba, foi instalada numa área da Prefeitura de Jaíba, na cidade de Jaíba – MG. A Tabela 6 mostra as coordenadas da estação para o padrão SIRGAS200 / UTM E,N e a Figura 35, a área onde foi instalada a estação solarimétrica.

Latitude	Longitude	Desvios/ Lat/Longitude (metros)	Leste (metros)	Norte (metros)	Fuso	Altitude (metros)
-19º24'34,7951''	-44º12'0,0378''	0,00000	583999	7854718	23	473

Tabela 6 . ***Coordenadas SIRGAS200 / UTM E, N.***

Figura 35 . ***Área de instalação da estação solarimétrica de Jaíba.***

A estação solarimétrica de Jaíba foi instalada em setembro de 2012. Os instrumentos e processos de aquisição e armazenamento dos dados seguiram o mesmo padrão da estação solarimétrica de Sete Lagoas. A Figura 36 mostra a estação solarimétrica.

Figura 36 . ***Estação solarimétrica de Jaíba.***

2.6
CONSIDERAÇÕES FINAIS

O objetivo da instalação de estações climatológicas com instrumentos meteorológicos específicos para medições de radiação solar se deve à necessidade de obtenção de informações precisas e de alta confiabilidade para sustentar e embasar os resultados e discussões que serão descritos nos próximos capítulos.

A operação das estações solarimétricas foi realizada através da coleta instantânea dos dados via área FTP, e também, com a presença de um observador local, que fazia a limpeza dos equipamentos e coletas semanais dos dados.

O capítulo 3 apresenta os resultados encontrados da estimativa da radiação solar a partir das imagens de satélites. Para calibração do modelo de estimativa da radiação solar, foi necessário a utilização dos dados das cinco estações solarimétricas.

RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL EM MINAS GERAIS CALCULADA A PARTIR DE DADOS DE SATÉLITES

Ruibran Januário dos Reis

Daniel Pereira Guimarães

João Francisco de Abreu

Viviane Augusta Pascoal

3.1
METODOLOGIA DE ESTIMATIVA

A determinação do potencial energético a partir da radiação solar incidente sobre o território brasileiro é de grande importância para o desenvolvimento de projetos visando o aproveitamento desse recurso natural. A busca por fontes renováveis de energia de baixo impacto ambiental vem impulsionando o desenvolvimento tecnológico e viabilizando economicamente o uso da energia solar (Martins & Pereira, 2011), tendo em vista a perspectiva de redução futura das fontes tradicionais e as preocupações com o meio ambiente (Pereira et al. 2006).

No Brasil, apesar das condições climáticas favoráveis, o aproveitamento dessa fonte de energia é muito reduzido. Enquanto 0,9% das residências brasileiras utilizam painéis de aquecimento solar, em Israel, 94% das residências fazem uso dessa tecnologia (Carvalho, 2010). As dimensões territoriais brasileiras constituem em elemento de dificuldade para a espacialização da radiação solar no país e o conhecimento do potencial de uso desse recurso energético. O uso de sensores terrestres (radiômetros) é dificultado pelo alto custo de aquisição e manutenção desses equipamentos, perdas de calibração, falhas na coleta das informações e erros ocasionados pela necessidade do uso de interpolação dos dados em grandes distâncias. Nesse caso, o uso de sensores orbitais passa a ter grande relevância, por permitir um maior detalhamento da variabilidade espacial da radiação solar incidente em grandes áreas, tendo os sensores terrestres, a função de validação dos resultados obtidos de modelos. A viabilização dessa tecnologia espacial conduziu a criação, pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (UNEP), do projeto SWERA (Solar and Wind Energy Resource Assessment) em fase operacional em diferentes países.

Outro modelo físico que utiliza de informações de satélites geoestacionários é o GL 1.2 operado pelo CPTEC. Ambos os modelos utilizam imagens dos satélites meteorológicos GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite da Agência Espacial Americana – NASA e operados pelo NOAA – National Oceanic & Atmospheric Administration). A série de satélites GOES possui órbita geoestacionária, ou seja, mantém sincronia com a rotação da terra de modo a permanecer em posição fixa em relação à superfície de rastreamento e opera desde 1974, entretanto, as observações mais precisas se deram a partir da terceira geração de satélites representada pelo lançamento do GOES-8. Atualmente, o GOES-13, renomeado de GOES-East, monitora o continente americano a cada 30 minutos. A próxima geração de satélites meteorológicos geoestacionários, GOES-R, será capaz de triplicar a quantidade de dados coletados, quadruplicar a resolução das imagens e fazer varreduras da atmosfera terrestre a cada 30 segundos e, desse modo, contribuir para a melhoria dos processos de previsão do tempo e monitoramento de fenômenos como furacões, ciclones, tempestades de areia, fumaças de vulcões, nevascas e focos de incêndios. A Figura 37 apresenta uma ilustração do satélite meteorológico GOES operado pelo NOAA.

3.1 METODOLOGIA DE ESTIMATIVA
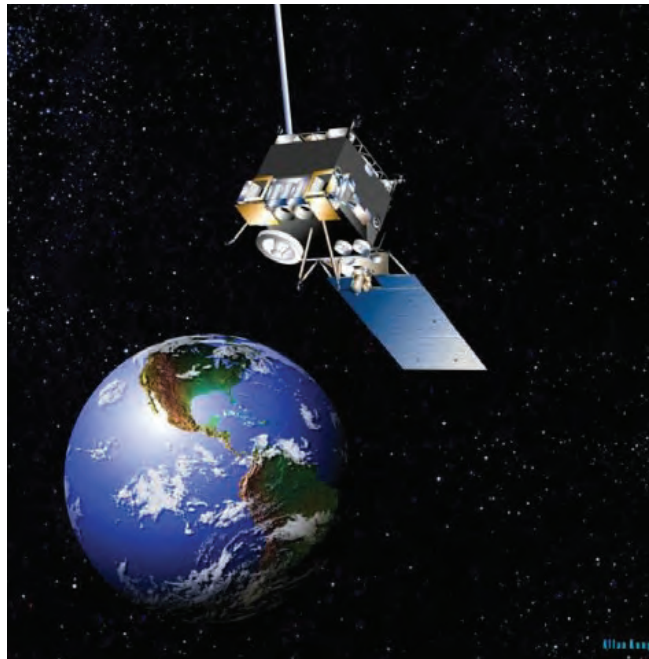
Figura 37 . ***Satélite GOES – NOAA.***

Estudos comparativos entre os mapeamentos gerados pela interpolação de dados obtidos por piranômetros instalados na superfície com os dados estimados através de modelo de transferência radiativa Brasil-SR, após a calibração do modelo, evidenciaram melhor consistência das informações obtidas por satélites para a região Sudeste do Brasil (Martins & Pereira, 2011). Nessa mesma região, a aplicabilidade do modelo GL 1.2 foi comprovada em comparação com as irradiações coletadas pela rede de Plataformas de Coletas de Dados, gerenciada pelo setor de coleta de dados por satélites da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (Ceballos&Bottino, 2002). Assim, a instalação das cinco estações solarimétricas, com instrumentações específicas para medição de parâmetros de radiação solar, permitiu validar o modelo utilizado para a estimativa da radiação solar por meio de imagens de satélites.

A espacialização da radiação solar sobre o estado de Minas Gerais teve como base as imagens mensais do Modelo GL 1.2, disponibilizadas pela Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais do CPTEC, a partir do ano 2000, em resolução espacial de aproximadamente 4 quilômetros (0,04 arcdegrees). As vantagens em relação à espacialização da radiação obtida por estações terrestres estão relacionadas ao maior período das séries históricas (15 anos), melhor variabilidade espacial, ausência de falhas e ausência de erros relacionados à calibração dos instrumentos. As desvantagens se devem aos erros inerentes ao processo de modelagem, que não consegue incluir ou explicar integralmente os fatores relacionados à interceptação da radiação pelos elementos presentes na atmosfera. A validação dos resultados foi

feita comparando as estimativas satelitais com os dados coletados pelos sensores da rede de estações automáticas de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia – Inmet, localizados em Minas Gerais e em áreas limítrofes dos estados vizinhos (BA, ES, RJ, SP, GO e DF). A localização geográfica de cada estação automática foi convertida em área de *buffer* circular com 1 km de raio e os vetores resultantes foram usados para a determinação da radiação localizada nas imagens de satélite, empregando o *plugin Zonal Statistics* do *software* livre *Quantum Gis*. A Figura 38 apresenta a distribuição das estações automáticas usadas para a análise de validação dos resultados.
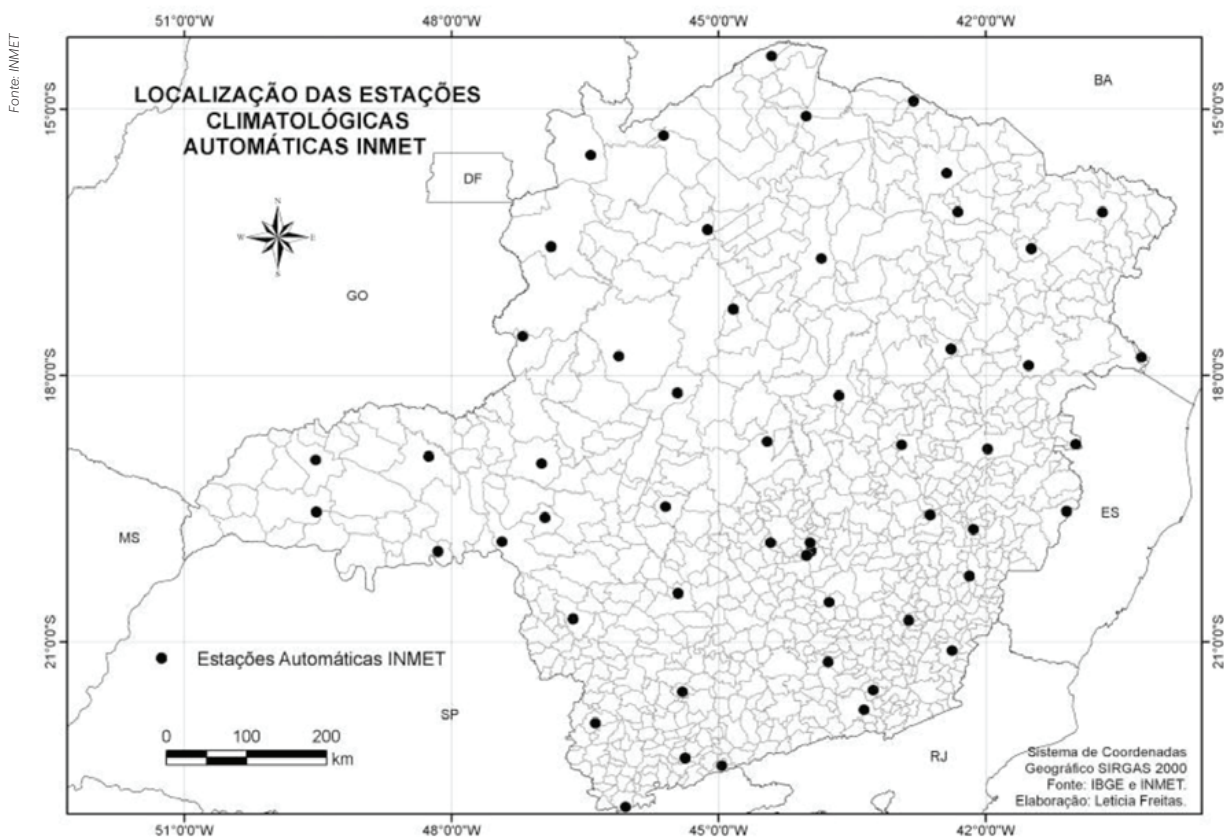
Figura 38 . ***Distribuição das estações meteorológicas automátimáticas do INMET em Minas Gerais.***

3.1 METODOLOGIA DE ESTIMATIVA

Antes de determinar a radiação mensal, os dados horários obtidos pelo INMET passaram por uma análise de consistência para eliminar falhas, resultando em 2200 pontos de controle, para fins comparativos com a radiação obtida pelo modelo GL 1.2 do CPTEC. A relação funcional foi estabelecida por meio de regressão linear simples. Os resultados da Figura 3.3 mostram que para valores baixos de radiação solar, os dados dos piranômetros tendem a subestimar a radiação em relação aos estimados pelo modelo com imagens de satélites. Os dados ficaram abaixo da linha de tendência.
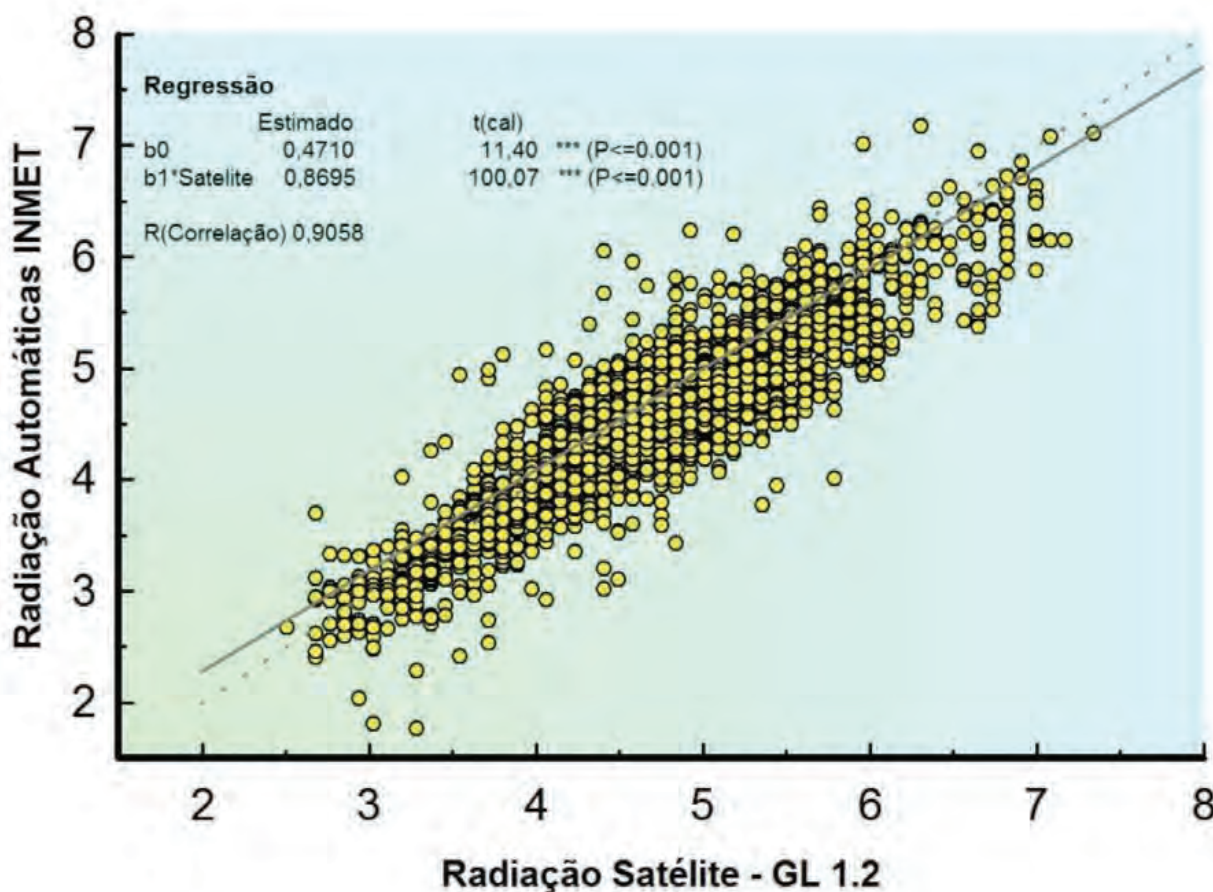
Figura 39 . **Comparação entre os dados de radiação solar global do INMET e obtidos por dados de satélites.**

A distribuição dos erros, apresentada na Figura 40, mostra que mais da metade das radiações mensais (52,8%) registradas pelas estações automáticas do INMET, foram estimadas pelo Modelo GL 1.2 dentro de limites de erro menores que 5% e cerca de 80% dos erros de estimativa foram inferiores ao limite de 10%. Tendo em vista a possibilidade das divergências estarem relacionadas a erros de calibragem ou falta de manutenção dos sensores das estações automáticas do Inmet, optou-se por não proceder a correção dos valores estimados pelo Modelo GL 1.2 em função dos desvios relativos às estações terrestres. Além do mais, a Rede Sonda, operada pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, é a única que segue os procedimentos determinados pela *World Meteorological Organization* (WMO) para a geração da *Baseline Surface Radiation Network* (BSRN) condizente com os padrões de qualidade de aquisição, qualificação e disponibilização dos dados de irradiância solar no Brasil.
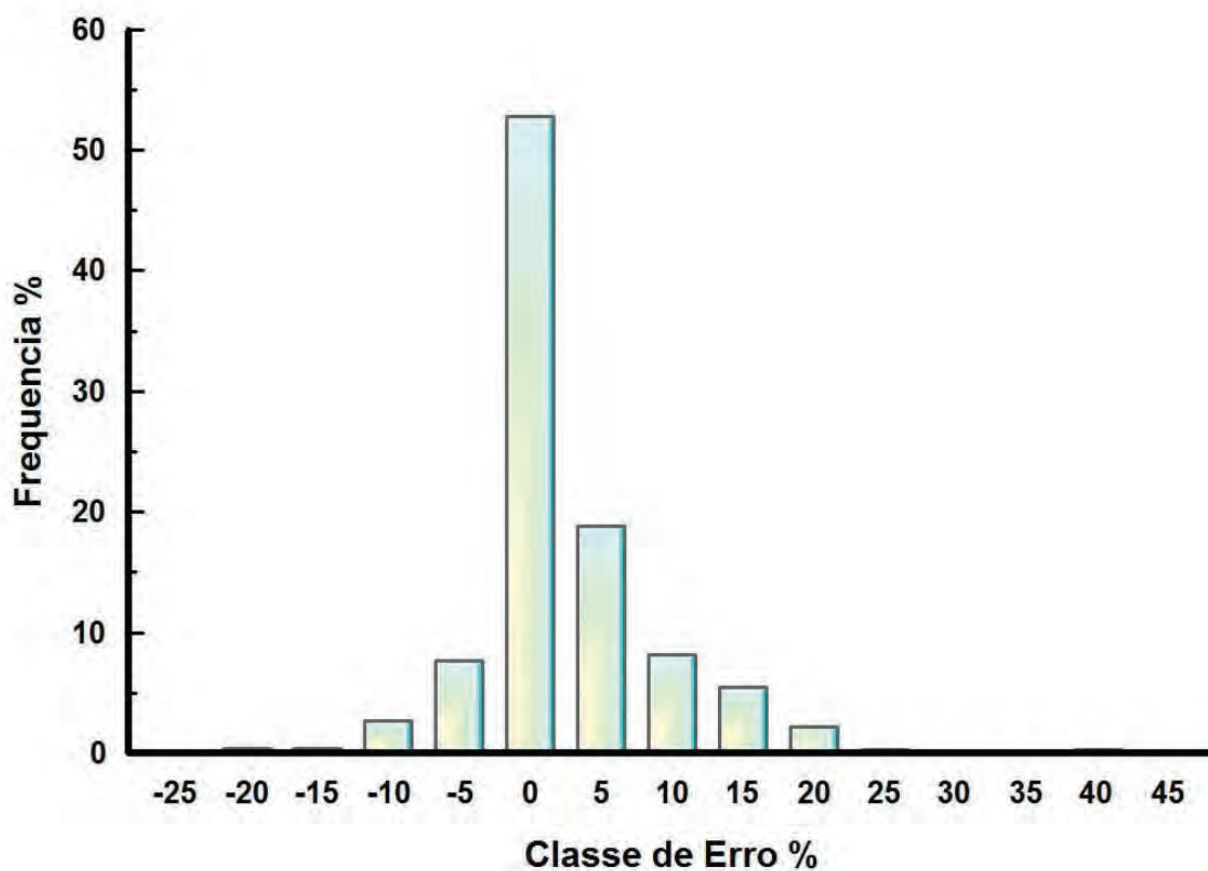
Figura 40 . Distribuição de frequência dos erros percentuais entre a radiação solar estimada pelo Modelo GL 1.2 e os valores obtidos das estações automáticas do INMET.

3.2
ANÁLISE DOS RESULTADOS ENCONTRADOS NA ESTIMATIVA DA RADIAÇÃO SOLAR POR MEIO DE MODELOS UTILIZANDO IMAGENS DE SATÉLITES

Janeiro é o segundo mês mais chuvoso em Minas Gerais. O principal fator meteorológico para ocorrência das chuvas são as frentes frias. Os sistemas frontais atuam principalmente , nas regiões do Triângulo, Oeste, Sul, Zona da Mata e Central. A média de dias com ocorrência de chuvas nessas regiões varia entre 18 e 20. A presença da nebulosidade diminui a quantidade de radiação solar que chega até a superfície. Pode-se observar na Figura 41 que a radiação solar é mais alta na região Norte e nos Vales do Jequitinhonha, Mucuri e Rio Doce, variando entre 5 e 6,5 kWh/m²/dia. Os menores índices de radiação solar são observados na região Sul, abaixo de 4 kWh/m²/dia.

Historicamente, fevereiro é o que apresenta maior variabilidade nas precipitações, considerando o período chuvoso em Minas Gerais, que começa em outubro e termina em abril. Em alguns anos fevereiro é extremamente chuvoso e, em outros, seco. Pode-se observar na Figura 42 que a radiação solar diária varia entre 5 e 7 kWh/m²/dia em todas as regiões do estado. Valores baixos de radiação solar encontrado em algumas áreas, se deve a locais com regiões serranas.

Apesar da pouca chuva nos últimos 4 anos, o mês de março é normalmente marcado por presenças de frentes frias e fortes temporais no período da tarde. As altas temperaturas associadas à disponibilidade de umidade favorecem a formação de chuvas em quase todas as regiões do estado. Pode-se observar na Figura 43 que, devido a presença de nebulosidade, a radiação solar diminui muito em relação a observada em fevereiro. Na maioria das regiões do estado, a radiação solar ficou abaixo de 5 kWh/m²/dia. Valores superiores somente foram observados na região Norte.

Abril ocorre uma ligeira queda da radiação solar em quase todas as regiões de Minas Gerais. Os menores índices são observados nos Vales do Jequitinhonha, Mucuri e Rio Doce e também, na Zona da Mata. Os dois principais fatores para esta diminuição são: a estação do ano e a circulação marítima que organiza muita nebulosidade de baixa altura nessas regiões. A radiação varia entre 3 e 4 kWh/m²/dia (Figura 44).

As Figuras 45, 46 e 47 representam os meses de maio, julho e julho, respectivamente. Pode-se observar que a Serra do Espinhaço faz uma verdadeira barreira na nebulosidade organizada pela circulação marítima. As regiões Sul, Zona da Mata, Campo das Vertentes e os Vales do Jequitinhonha, Mucuri e Rio Doce apresentam índices abaixo de 4 kWh/m²/dia. Apesar da baixa quantidade de radiação solar que chega até a superfície nesta época do ano, os maiores índices no estado são observados nas regiões Norte, Noroeste e Triângulo, variando entre 4 e 5 kWh/m²/dia.

No mês de agosto a radiação solar tem um ligeiro aumento em relação aos meses de maio, junho e julho, nas regiões Norte, Noroeste, Triângulo, Central e Oeste, com valores entre 5 e 6 kWh/m²/dia. Os menores índices de radiação solar ainda continuam sendo observados nos Vales do Jequitinhonha, Mucuri e Rio Doce e também na Zona da Mata, abaixo de 4 kWh/m²/dia (Figura 48).

A primavera normalmente começa próximo ao dia 23 de setembro, é quando ocorre um aumento significativo na radiação solar que chega até a superfície em Minas Gerais. O mês de setembro é de poucas chuvas e isso se deve a baixa umidade relativa do ar. As chuvas que ocorrem são somente de forma isoladas, geralmente no final da tarde e início da noite. Pode-se observar que há um aumento significativo da quantidade de radiação solar (Figura 49). Nas regiões Norte e Noroeste, os índices variam entre 6,5 e 7 kWh/m²/dia. Valores acima de 6 kWh/m²/dia ocorrem também nas regiões Central, Oeste e Triângulo.

A radiação solar global na superfície para outubro é muito semelhante a observada em setembro. Os menores índices continuam sendo observados nos Vales do Jequitinhonha, Mucuri e Rio Doce e, também, na Zona da Mata, abaixo de 5 kWh/m²/dia (Figura 50).

Novembro é um dos mais chuvosos em Minas Gerais. A presença da nebulosidade diminui significativamente a radiação solar na superfície. Esse fator também é o mesmo que causa diminuição da radiação solar em dezembro (Figuras 51 e 52).
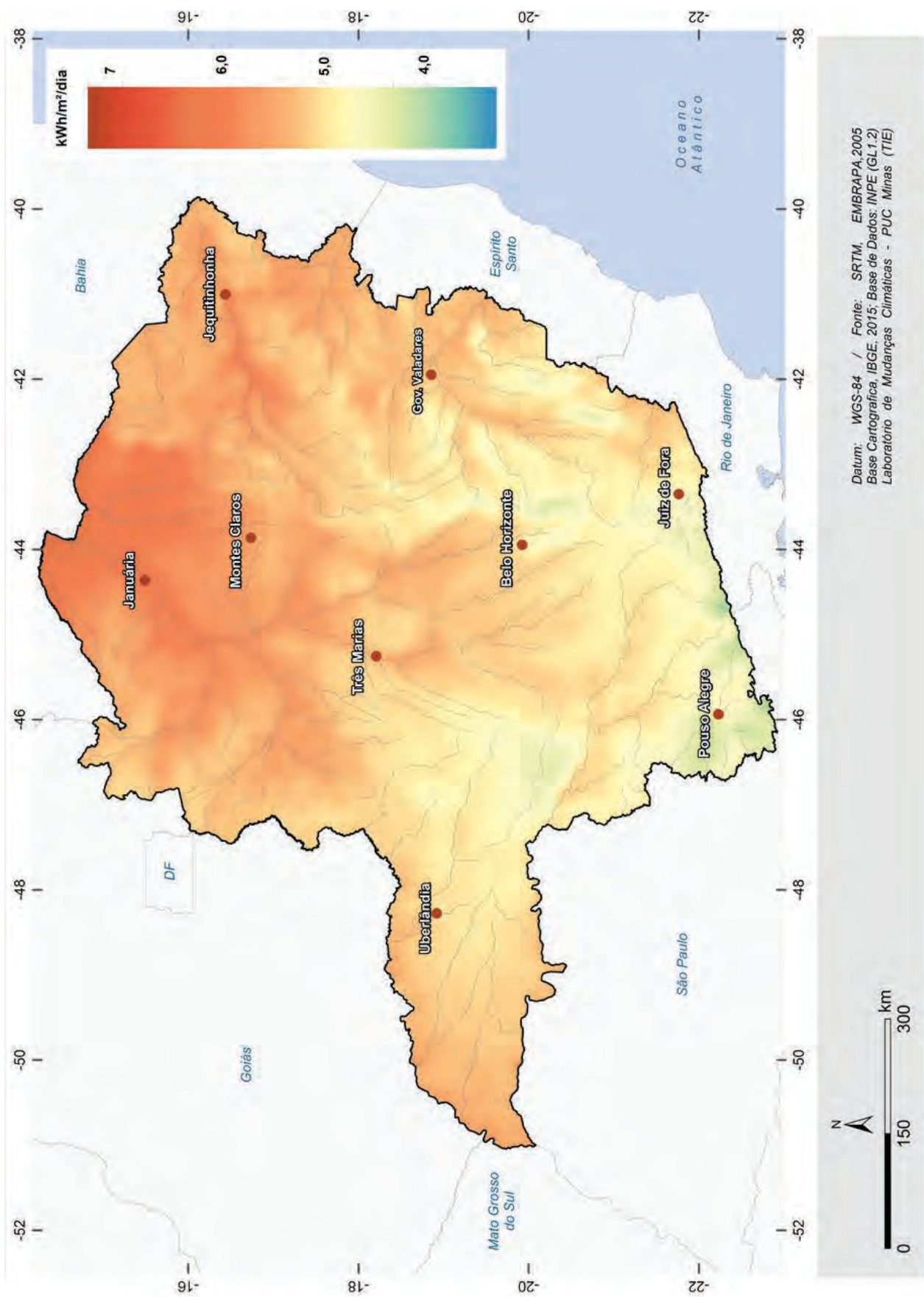
Figura 41 . Radiação solar média diária do mês de janeiro.
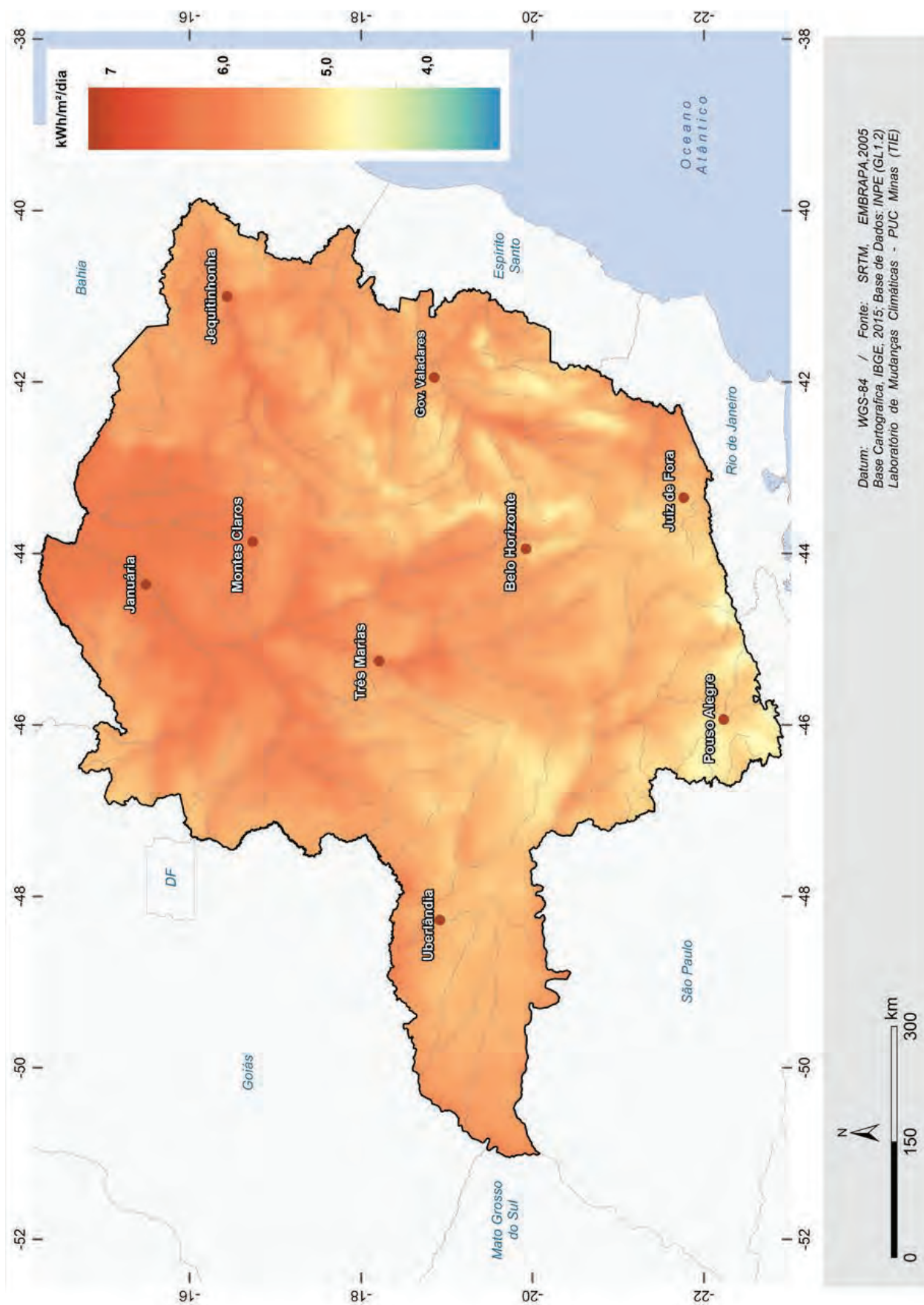
Figura 42 . **Radiação solar média diária do mês de fevereiro.**
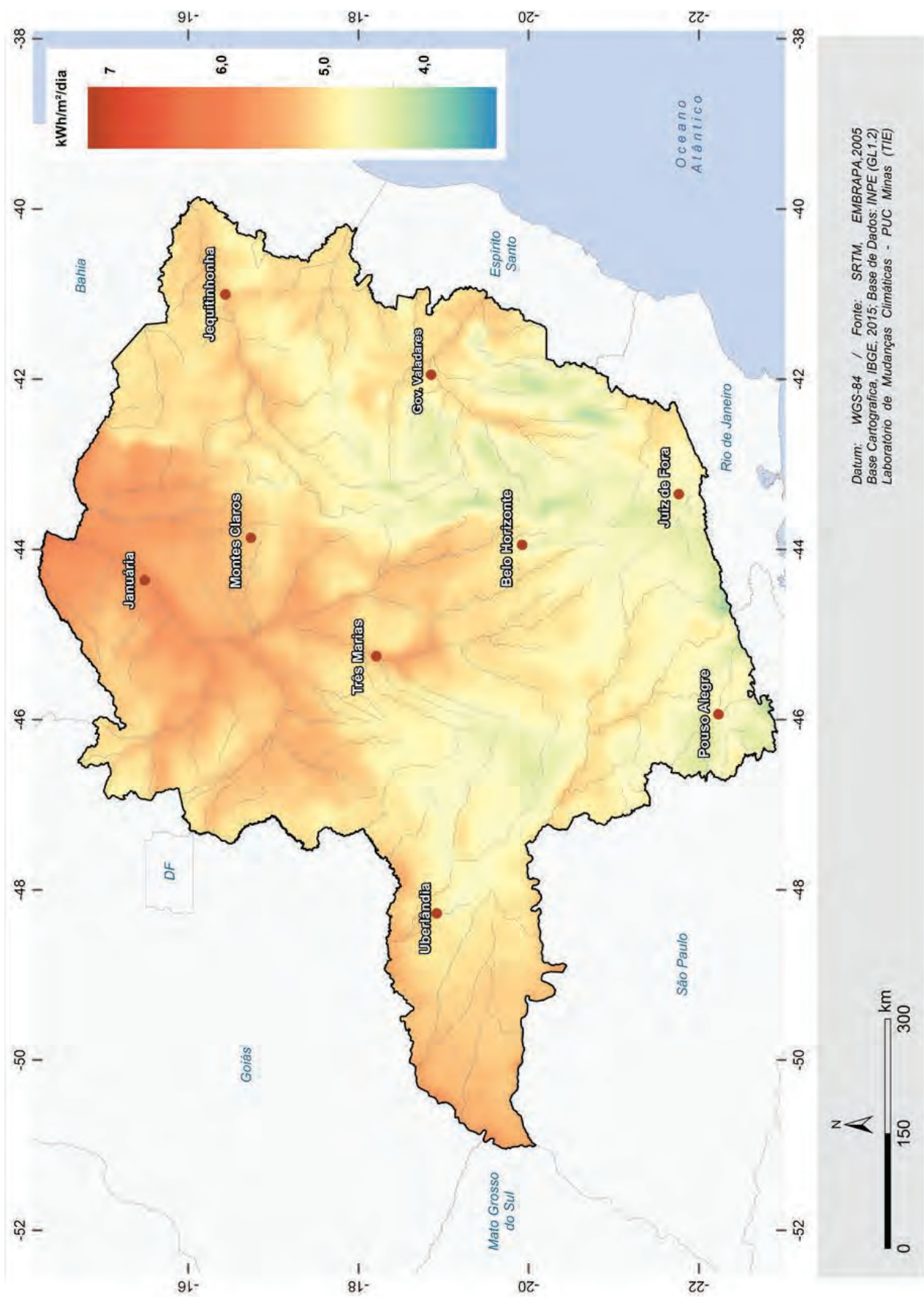
Figura 43 . Radiação solar média diária do mês de março.
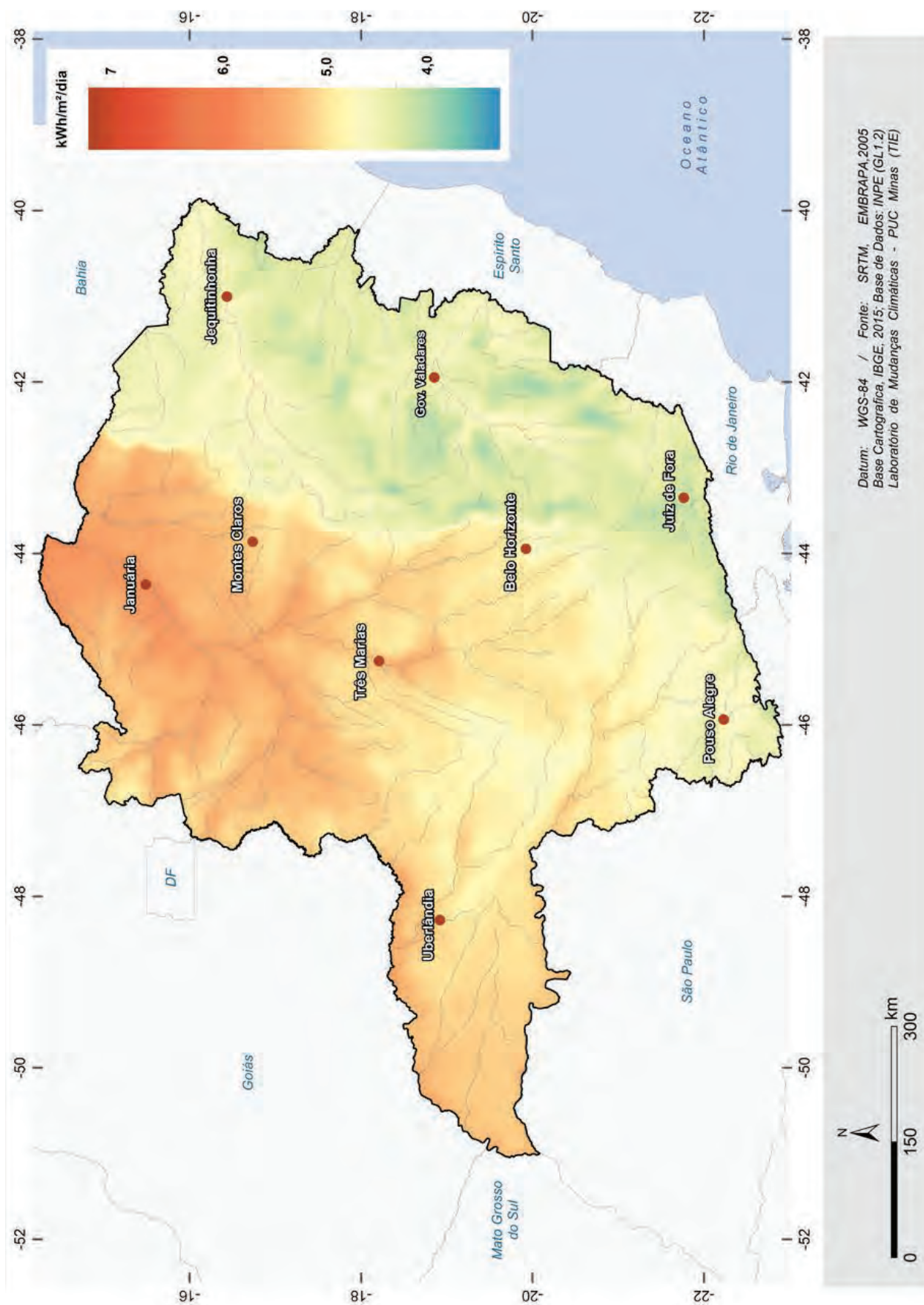
Figura 44 . Radiação solar média diária do mês de abril.
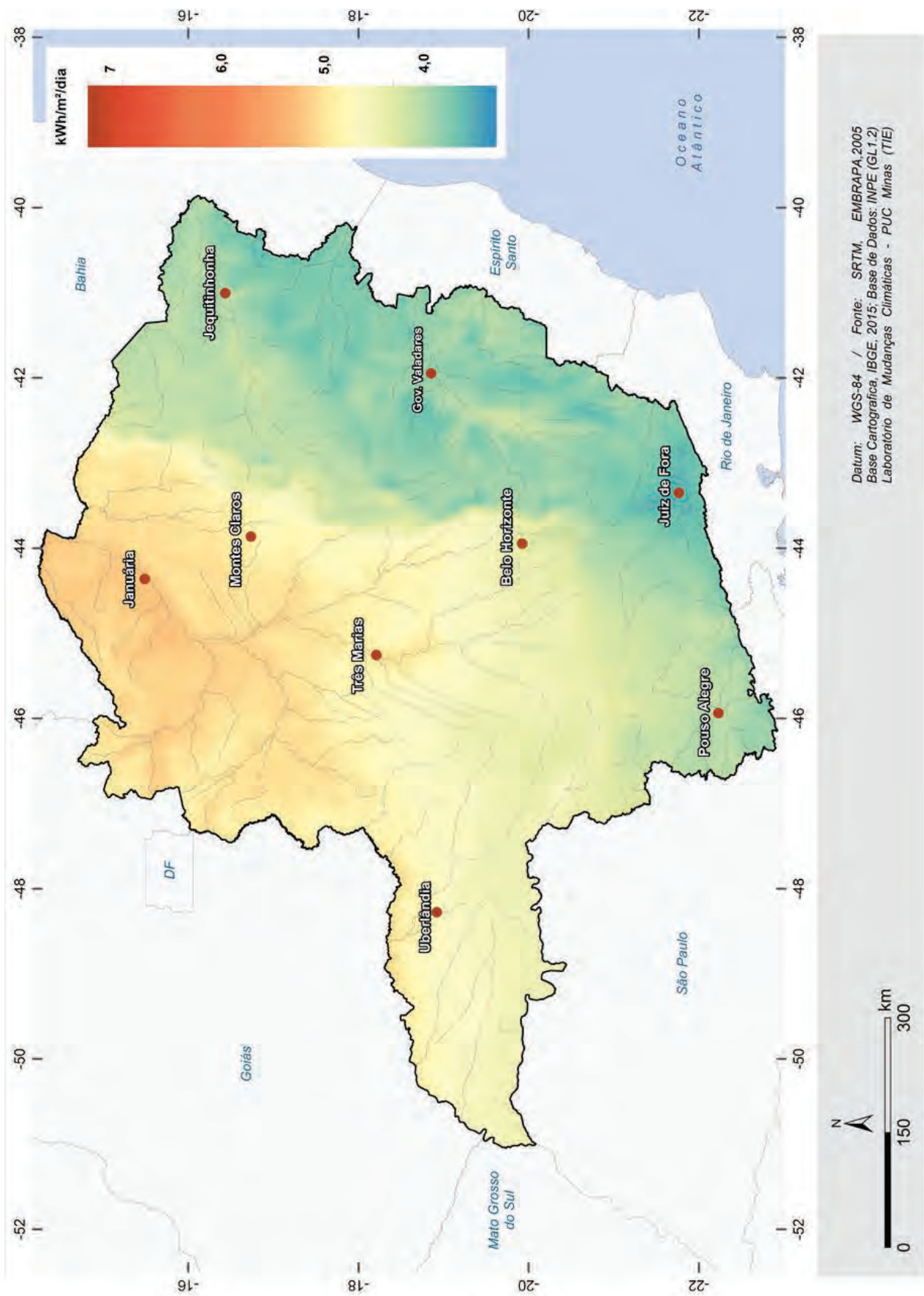
Figura 45 . Radiação solar média diária do mês de maio.
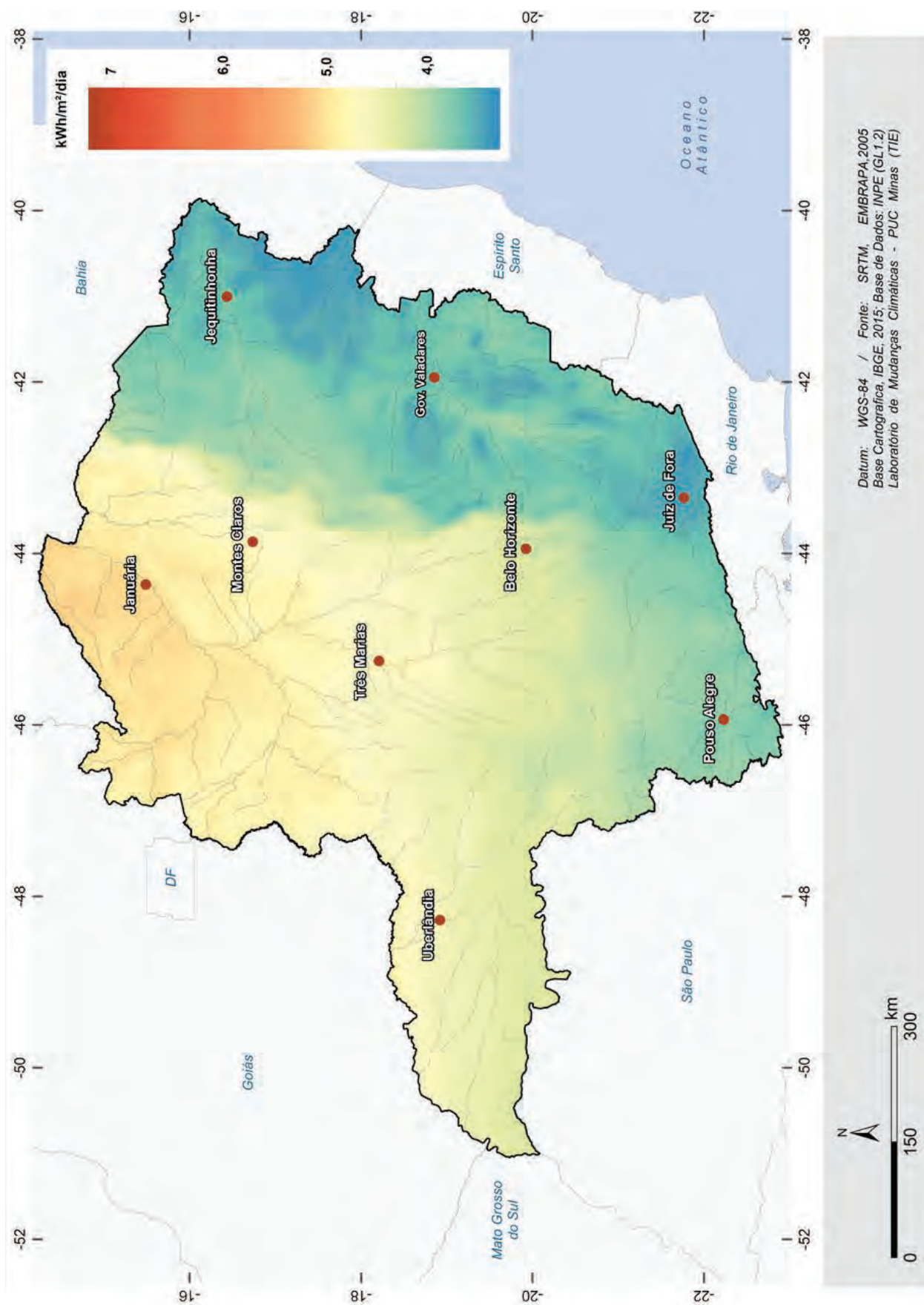
Figura 46 **. Radiação solar média diária do mês de junho.**
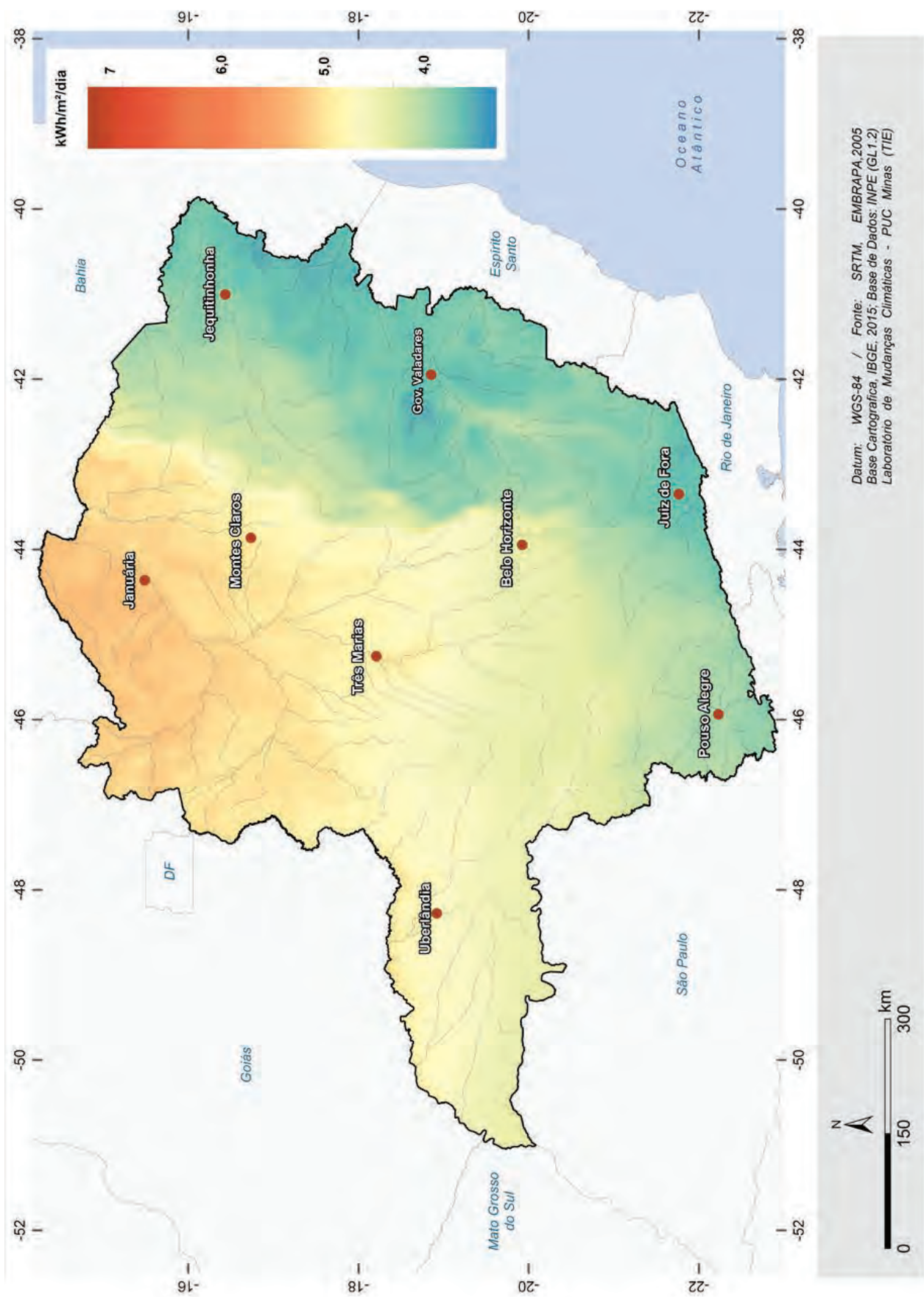
Figura 47 . Radiação solar média diária do mês de julho.
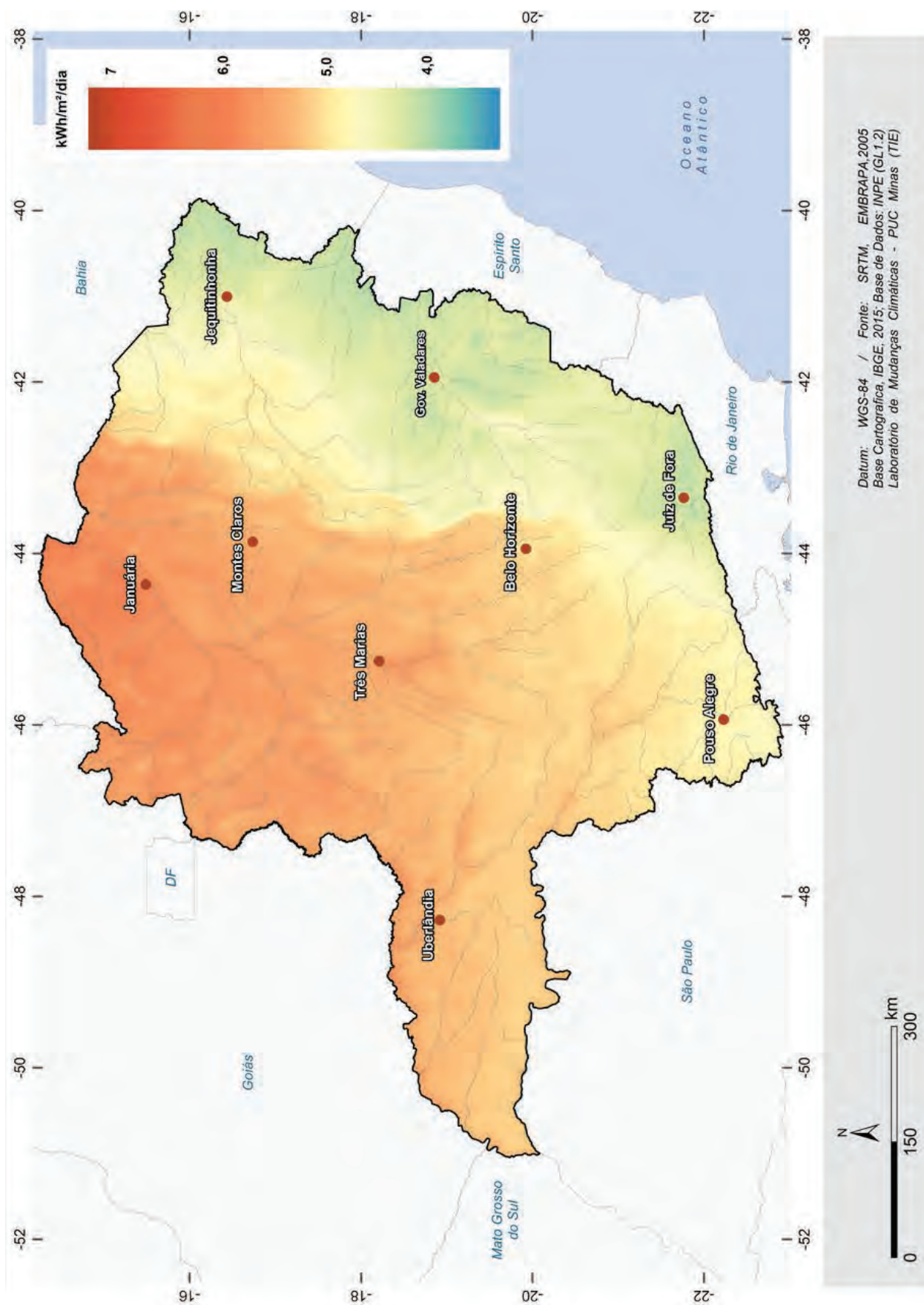
Figura 48 . **Radiação solar média diária do mês de agosto.**
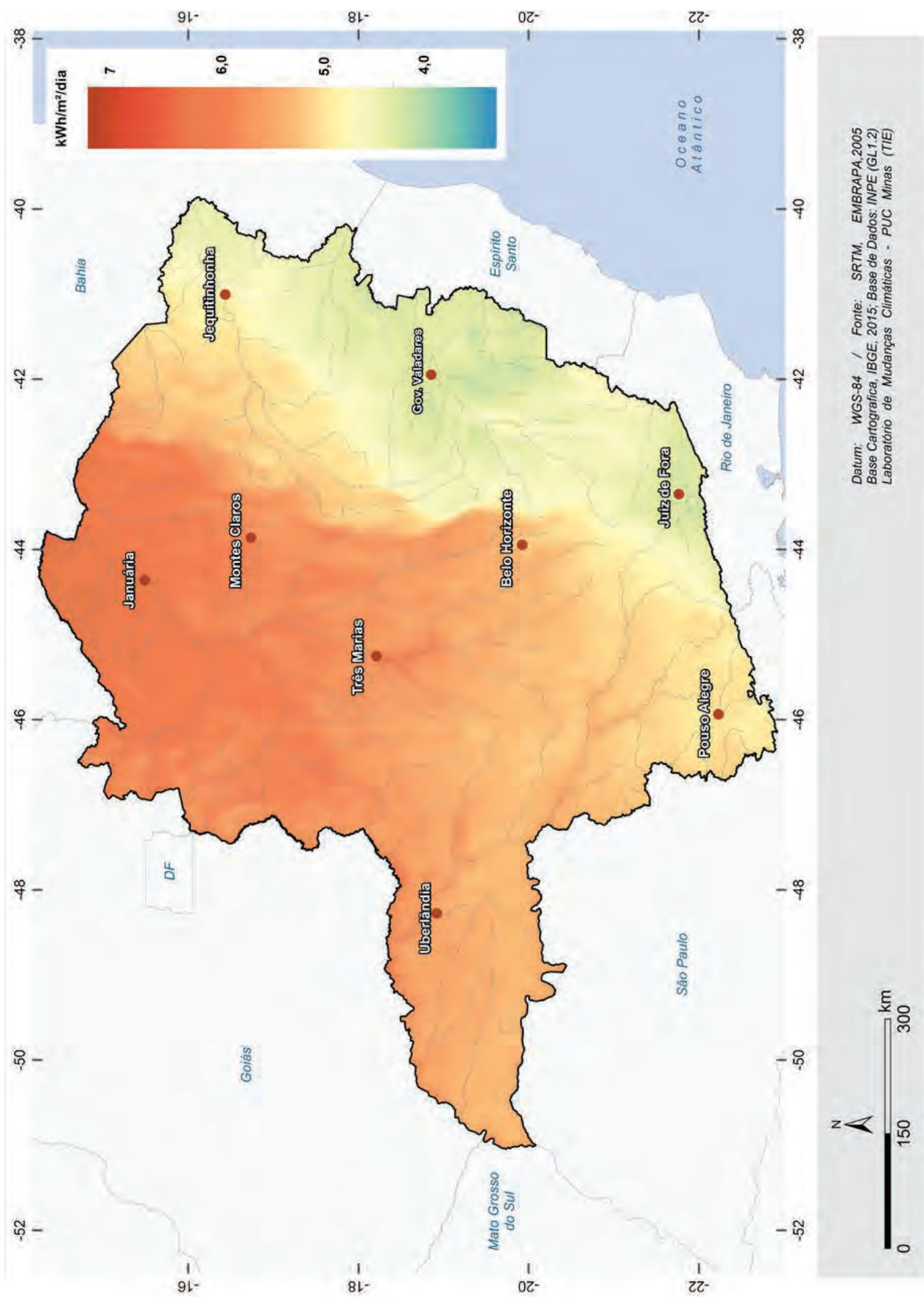
Figura 49 . Radiação solar média diária do mês de setembro.
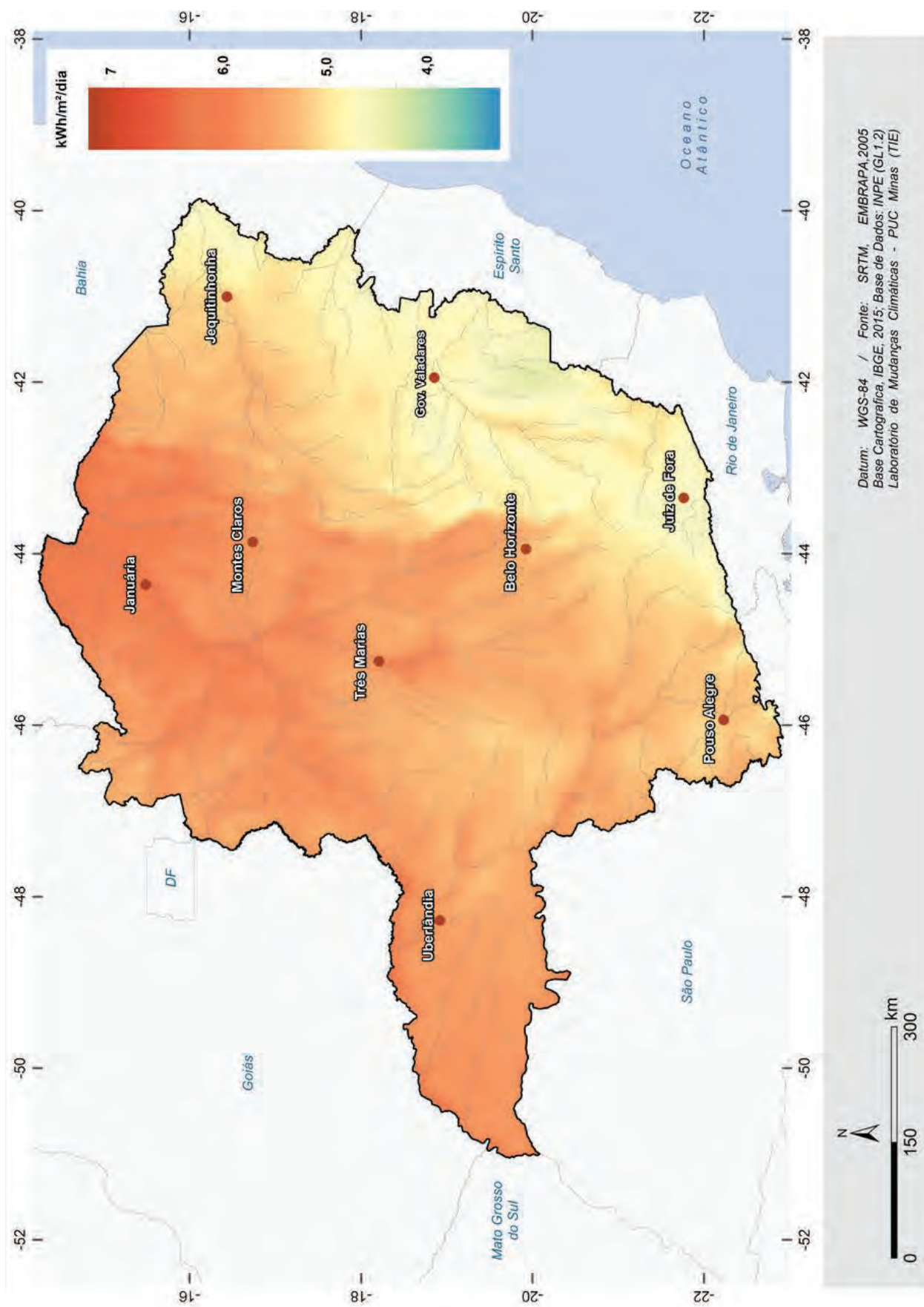
Figura 50 . Radiação solar média diária do mês de outubro.
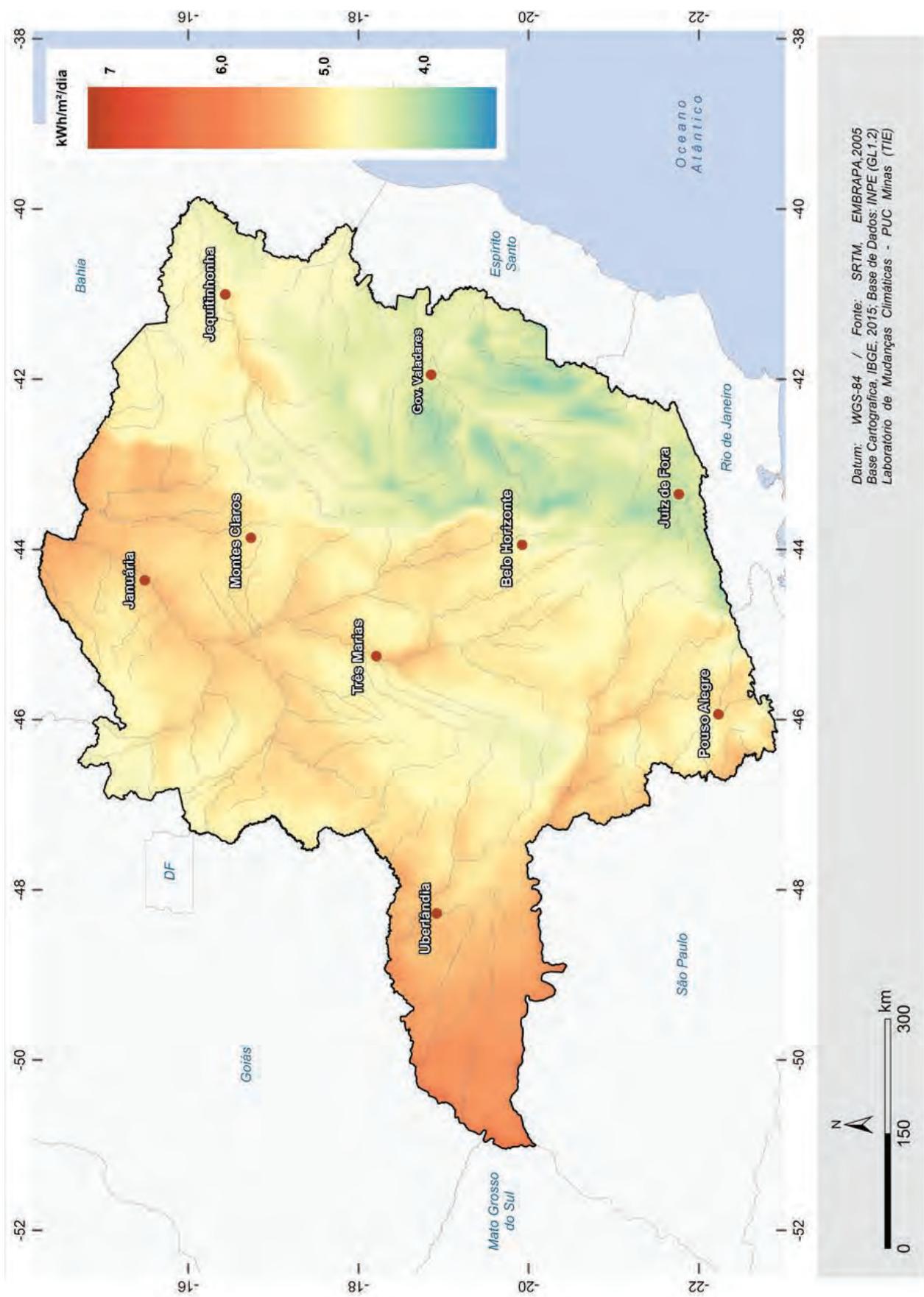
Figura 51 . Radiação solar média diária do mês de novembro.
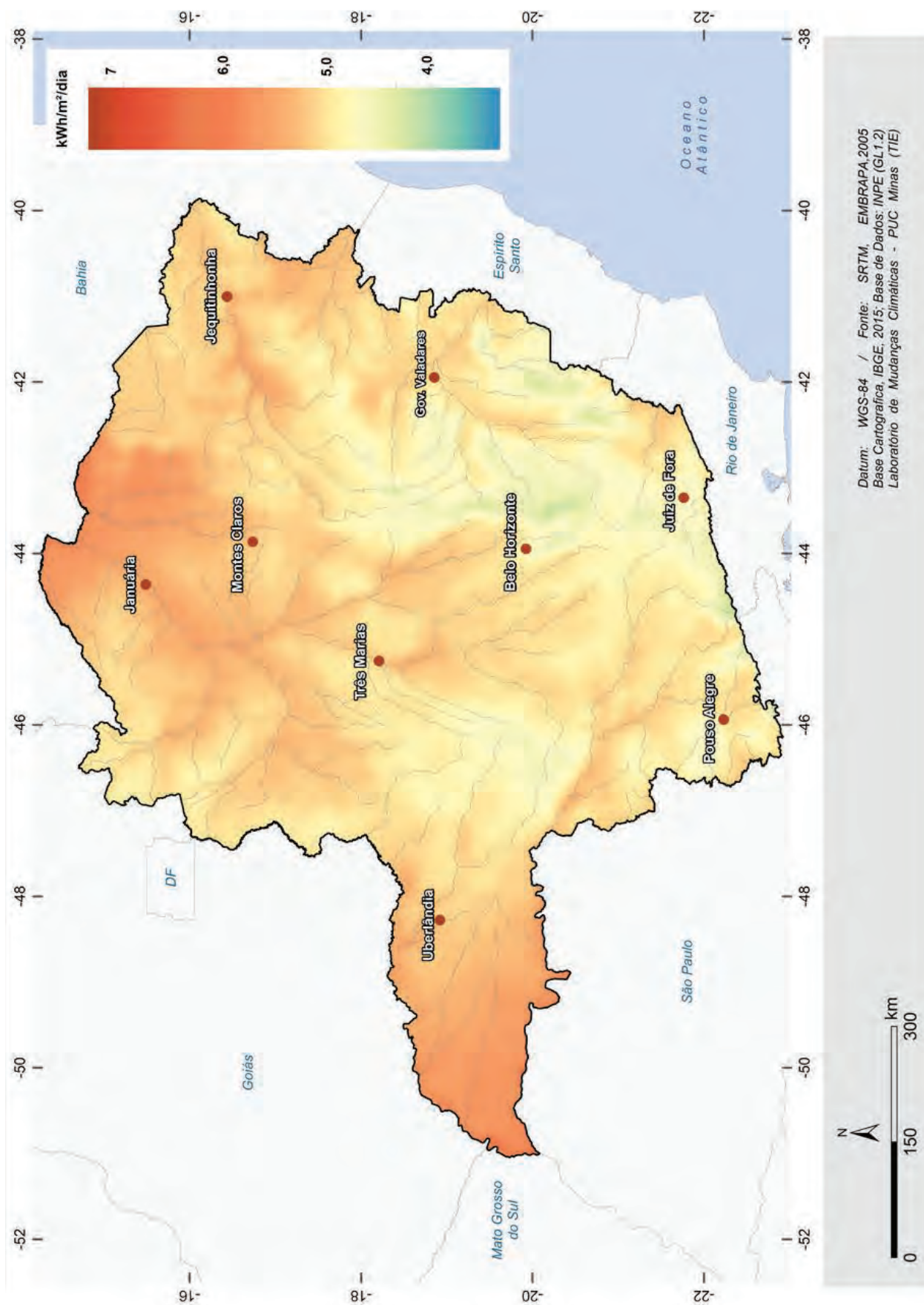
Figura 52 . Radiação solar média diária do mês de dezembro.

3.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Figura 53 mostra a distribuição da radiação solar global diária média anual em Minas Gerais. Pode-se observar que a radiação varia entre 4,5 e 6,5 kWh/m²/dia. Os valores máximos ocorrem na região Norte de Minas Gerais e os mínimos na região Sudeste, onde se encontram as áreas de maior altitude (Serra do Caparaó e Mantiqueira) e o regime pluviométrico é mais intenso, com totais anuais de precipitação superiores aos 1.400 mm.

A massa de ar tropical marítima que atua entre o Brasil e a África é o principal fator climático que inibe a formação de nuvens e, consequentemente, a ocorrência de chuvas nas regiões Norte e Nordeste de Minas Gerais, caracterizadas por um clima semiárido, com precipitações anuais entre 600 e 800 mm e altitudes entre 400 e 600 m.

A Figura 53 também mostra que os maiores índices de radiação são observados numa pequena região do Noroeste de Minas Gerais, ao norte de Januária. Valores menores, mas ainda assim expressivos, entre 6,0 e 7,0 kWh/m²/dia, ocorrem numa vasta área localizada acima da altitude de 18º (metade superior do estado).

Finalmente convém ressaltar aspectos importantes para os usuários de informações sobre o recurso solar:

- Os mapas de distribuição espacial de radiação solar diária média mensal representam uma primeira aproximação do campo de energia solar disponível na superfície (observação espacial macro);
- A Serra do Espinhaço é um fator importante na retenção da nebulosidade proveniente do oceano Atlântico, diminuindo a radiação solar global nos Vales do Jequitinhonha, Mucuri e Rio Doce, enquanto que o ar seco nas regiões Norte e Noroeste, faz com que sejam as regiões que apresentem os maiores índices de radiação solar média diária para o estado de Minas Gerais.
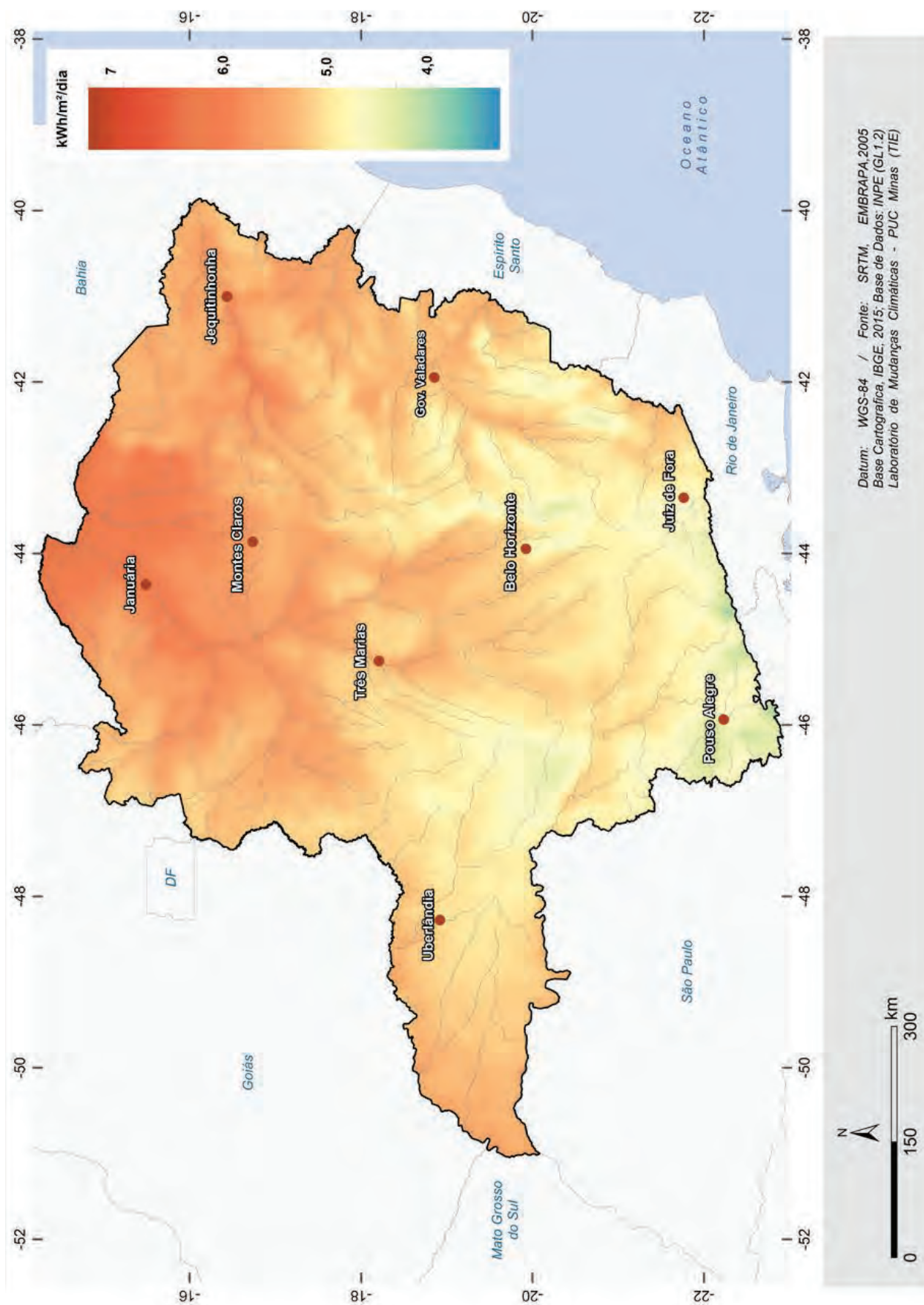
Figura 53 . Radiação solar média diária anual.

3.2 ANÁLISE DOS RESULTADOS

A Tabela 7 mostra os dados da radiação solar global (kWh/m²/dia) por microrregiões de Minas Gerais.

Microregião	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Januária	6	6,1	5,7	5,7	5,3	5,2	5,4	6	6,3	6,1	5,3	5,5	5,7
Janaúba	6,2	6,2	5,7	5,7	5,1	4,9	5,2	5,8	6,2	6,1	5,4	5,7	5,7
Montes Claros	5,9	6,1	5,5	5,5	5,1	5	5,2	5,7	6,1	5,9	5,2	5,4	5,6
Pirapora	5,7	6	5,5	5,5	5,2	5	5,1	5,7	6,1	6	5,2	5,3	5,5
Ituiutaba	5,5	5,7	5,5	5,5	4,9	4,7	4,9	5,5	5,7	5,9	5,9	5,6	5,5
Unaí	5,5	5,7	5,3	5,3	5,2	5,1	5,3	5,8	6,1	5,8	5	5,1	5,4
Paracatu	5,5	5,8	5,3	5,3	5,1	4,9	5	5,7	6	5,8	5,1	5,2	5,4
Frutal	5,5	5,8	5,5	5,5	4,7	4,5	4,6	5,4	5,6	5,9	5,9	5,7	5,4
Uberlândia	5,3	5,7	5,3	5,3	4,9	4,7	4,9	5,5	5,7	5,8	5,5	5,4	5,3
Três Marias	5,4	5,9	5,3	5,3	4,9	4,8	4,9	5,6	5,8	5,8	5,1	5,2	5,3
Curvelo	5,5	5,9	5,3	5,3	4,9	4,8	4,9	5,5	5,8	5,8	5,1	5,2	5,3
Bocaiúva	5,6	5,9	5,3	5,3	4,8	4,7	4,9	5,5	5,9	5,8	5	5,2	5,3
Uberaba	5,1	5,6	5,1	5,1	4,7	4,5	4,7	5,4	5,6	5,7	5,4	5,3	5,2
Sete Lagoas	5,4	5,9	5,2	5,2	4,8	4,6	4,7	5,4	5,7	5,7	5,1	5,1	5,2
Patrocínio	5,2	5,6	5	5	4,9	4,7	4,9	5,6	5,8	5,7	5,2	5,1	5,1
Pará de Minas	5,4	5,8	5,2	5,2	4,7	4,5	4,6	5,3	5,6	5,6	5,1	5,1	5,2
Salinas	5,7	5,8	5,2	5,2	4,3	4	4,3	5	5,6	5,6	4,9	5,3	5,1
Patos de Minas	5,1	5,5	4,9	4,9	4,8	4,6	4,8	5,5	5,7	5,6	4,9	4,9	5,1
Passos	5,1	5,6	5,1	5,1	4,6	4,4	4,6	5,3	5,5	5,7	5,3	5,1	5,1
Grão Mongol	5,6	5,9	5,1	5,1	4,5	4,3	4,6	5,3	5,6	5,7	4,9	5,2	5,1
Formiga	5,2	5,7	5	5	4,6	4,4	4,5	5,3	5,5	5,6	5	5	5,1
Divinópolis	5,3	5,8	5,1	5,1	4,6	4,5	4,6	5,3	5,5	5,6	5,1	5,1	5,1
Bom Despacho	5,3	5,7	5,1	5,1	4,7	4,5	4,7	5,4	5,6	5,6	5	5,1	5,1
Belo Horizonte	5,2	5,7	5,1	5,1	4,6	4,4	4,6	5,3	5,5	5,6	5	4,9	5,1
Varginha	5,1	5,6	5	5	4,4	4,2	4,4	5,2	5,3	5,6	5,1	5,1	5
São Sebastião do Paraíso	4,9	5,4	4,9	4,9	4,4	4,2	4,4	5,2	5,4	5,6	5,2	5	5
Pedra Azul	5,7	5,8	5,2	5,2	5,2	3,8	4,1	4,7	5,1	5,4	4,9	5,3	5
Oliveira	5,1	5,6	5	5	4,5	4,3	4,4	5,2	5,3	5,5	4,9	5	5
Lavras	5,1	5,6	5	5	4,3	4,1	4,3	5,1	5,3	5,5	5,1	5,1	5
Itaguara	5,2	5,6	5	5	4,5	4,4	4,5	5,2	5,4	5,5	4,9	5	5
Diamantina	5,3	5,6	4,9	4,9	4,4	4,3	4,5	5,2	5,4	5,4	4,7	4,9	5
Campo Belo	5,2	5,6	5	5	4,5	4,3	4,4	5,2	5,3	5,5	5	5,1	5
Araxá	5	5,4	4,9	4,9	4,7	4,5	4,7	5,4	5,6	5,6	5	4,9	5
Araçuaí	5,7	5,8	5,2	5,2	4,2	3,9	4,1	4,9	5,1	5,4	4,9	5,3	5
Alfenas	5,1	5,6	5	5	4,4	4,1	4,3	5,2	5,3	5,5	5,1	5,1	5
Santa Rita do Sapucaí	4,9	5,4	4,9	4,9	4,3	4	4,2	5	5,2	5,4	5,1	5	4,9
Piuí	4,9	5,4	4,8	4,8	4,6	4,4	4,6	5,3	5,5	5,5	4,8	4,8	4,9
Capelinha	5,5	5,7	5	5	4,2	4,1	4,2	4,9	5,2	5,4	4,7	5,1	4,9
São Lourenço	4,8	5,3	4,9	4,9	4,2	4	4,2	5	5,1	5,4	5	4,9	4,8
São João Del Rei	5	5,5	4,8	4,8	4,2	4	4,2	4,9	5,1	5,2	4,7	4,9	4,8
Poços de Caldas	4,7	5,2	4,8	4,8	4,2	4	4,2	5	5,2	5,4	5,1	4,9	4,8
Nanuque	5,7	5,8	5,2	5,2	3,9	3,6	3,8	4,4	4,6	5	4,8	5,4	4,8
Itajubá	4,7	5,2	4,8	4,8	4,2	4	4,1	4,9	5,1	5,3	5	4,9	4,8
Conselheiro Lafaiete	5	5,5	4,8	4,8	4,2	4,1	4,3	5	5,1	5,2	4,6	4,8	4,8
Almenara	5,7	5,7	5,2	5,2	4,1	3,8	3,9	4,5	4,8	5,1	4,8	5,2	4,8
Teófilo Otoni	5,5	5,7	5,1	5,1	3,9	3,7	3,9	4,5	4,6	5	4,6	5,1	4,7
Pouso Alegre	4,6	5,1	4,7	4,7	4,1	4	4,1	4,9	5,1	5,4	5,1	4,9	4,7
Ponte Nova	5,2	5,7	5	5	4,1	3,9	4,1	4,7	4,7	5	4,5	4,9	4,7

Microregião	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Anual
Peçanha	5,4	5,6	5	5	4	3,9	3,9	4,6	4,7	5,1	4,5	5	4,7
Ouro Preto	4,8	5,4	4,7	4,7	4,2	4,1	4,3	4,9	5	5,1	4,4	4,5	4,7
Mantena	5,4	5,6	5,1	5,1	4	3,8	3,9	4,3	4,5	4,9	4,5	5	4,7
Itabira	5	5,5	4,7	4,7	4,1	3,9	4,1	4,8	4,8	5	4,4	4,7	4,7
Ipatinga	5,2	5,6	4,9	4,9	4,1	3,9	4	4,6	4,6	4,9	4,4	4,9	4,7
Governador Valadares	5,5	5,7	5,1	5,1	4	3,8	3,9	4,4	4,5	5	4,6	5,1	4,7
Conceição do Mato Dentro	5,1	5,4	4,7	4,7	4,1	3,9	4,1	4,8	4,9	5,1	4,4	4,7	4,7
Cataguases	5,3	5,8	5,1	5,1	3,9	3,8	3,9	4,4	4,6	5	4,6	5,1	4,7
Andrelândia	4,3	5,4	4,7	4,7	4,1	3,9	4,1	4,8	4,9	5,1	4,7	4,8	4,7
Aimorés	5,4	5,7	5,1	5,1	4,1	3,9	3,9	4,4	4,5	4,8	4,5	5	4,7
Viçosa	5	5,6	4,8	4,8	4	3,8	4	4,6	4,7	5	4,4	4,7	4,6
Ubá	5,1	5,7	4,9	4,9	3,9	3,8	4	4,5	4,7	5	4,5	4,8	4,6
Muriaé	5,1	5,6	4,8	4,8	4	3,9	4	4,6	4,8	4,9	4,4	4,8	4,6
Guanhães	5,2	5,4	4,7	4,7	4	3,8	3,9	4,6	4,8	5	4,3	4,8	4,6
Caratinga	5,3	5,6	4,9	4,9	4	3,8	3,9	4,5	4,5	4,8	4,4	5	4,6
Barbacena	4,9	5,4	4,7	4,7	4	3,9	4	4,7	4,8	5	4,4	4,7	4,6
Manhuaçu	5	5,4	4,7	4,7	4	3,8	3,9	4,5	4,6	4,7	4,3	4,7	4,5
Juiz de Fora	4,9	5,5	4,8	4,8	3,8	3,7	3,9	4,4	4,5	4,8	4,4	4,7	4,5

***Tabela 7 .** Radiação solar global (kWh/m².dia) por microrregiões de Minas Gerais*

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS

Luís Guilherme Monteiro Oliveira

Lucas Bacha Pereira Horta

Pedro Henrique Silva

Este capítulo destina-se a realizar a estimativa da geração fotovoltaica para o estado de Minas Gerais. Para tal, foram utilizadas figuras de mérito técnico, amplamente citadas na literatura e de grande utilidade na análise de engenharia (avaliação do desempenho) de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCRs) denominadas de: Energia Específica ou Produção Específica do Sistema e o Rendimento Global do Sistema. Nas próximas seções, de forma sucinta e objetiva, são apresentadas as descrições das figuras de mérito técnico bem como a metodologia aplicada e seus resultados, por meio de tabelas e mapas, utilizada para a estimativa da geração fotovoltaica para o estado de Minas Gerais.

4.1 METODOLOGIA

As equações utilizadas neste capítulo permitem analisar a operação de um SFCR (ZILLES et. al 2012) com base em seus balanços energéticos. A seguir, uma breve descrição das mesmas.

ENERGIA ESPECÍFICA / PRODUÇÃO ESPECÍFICA DO SISTEMA ("FINAL YIELD" - YF)

A Energia Especifica (EE) ou produtividade específica do sistema ("Final Yield" - Y_F, em inglês) para sistemas fotovoltaicos possui como objetivo permitir a comparação da produção de energia de $SFCR_S$ de tamanhos e localizações diferentes e é expressa em kWh/kWp. Portanto, para um intervalo de tempo ($t_2 - t_1$), a relação entre o valor médio da energia entregue à carga e a potência nominal do gerador é dada pela Equação 1.

$$YF = \int_{t1}^{t2} \frac{\text{Psaída x dt}}{P°FV} \qquad (1)$$

onde:

Po_{FV} : é a potência nominal do gerador fotovoltaico (Wp);

Y_F: é dado em $\left(\frac{kWh}{kWp}\right)$.

4.1 METODOLOGIA

RENDIMENTO GLOBAL DO SISTEMA ("PERFORMANCE RATIO" – PR)

O rendimento global do sistema, ou "Performance Ratio" – PR, em inglês, considera todas as perdas envolvidas em um SFCR (ex: perdas no gerador FV, conversor estático ou inversor e outros elementos do sistema) e é definido pela Equação 2.

$$PR = \frac{YF}{\frac{\int_{t1}^{t2} Ht,\beta \; x \; dt}{Href}} \qquad (2)$$

O Y_F pode ser interpretado como o tempo de operação com a potência nominal do gerador FV de modo a produzir a mesma quantidade de energia média fornecida à carga. De modo análogo, o denominador da Equação 2, conhecido como "reference yield" (Y_r), é interpretado como o número de horas na irradiância solar à 1.000 W/m².

MODELO POLINOMIAL DE POTÊNCIA

Os principais fatores que modificam a potência produzida por um módulo fotovoltaico, bem como os seus parâmetros elétricos característicos, ou seja, tensão e corrente, são a radiação solar incidente em seu plano e a temperatura de operação das células. A Equação 3 mostra como pode ser calculada a máxima potência (P_{mp}) do módulo fotovoltaico para uma determinada condição climática.

$$P_{mp} = Po_{FV} \frac{Ht,\beta}{Href} \left[1 - \gamma mp(Tc - Tc,ref)\right] \qquad (3)$$

Onde:
Po_{FV}: é a potência nominal do gerador fotovoltaico (W_p);
Ht,β: é a irradiância solar incidente no plano do gerador FV (W/m²);
Tc: é a temperatura equivalente de operação das células FV (°C);
$Href$: é a irradiância solar de referência (1.000 W/m² para massa de ar igual a 1,5);
Tc, ref: é a temperatura de célula de referência (25 °C para massa de ar igual a 1,5);
γ_{mp}: coeficiente que relaciona a variação da potência no ponto de máxima potência com a temperatura.

A Equação 4 mostra como é realizado o cálculo da temperatura de célula, obtida a partir da temperatura ambiente.

$$T_c = T_a + Ht,\beta \left(\mathrm{TNOC} - 20^0\mathrm{C} / _{800\ \mathrm{W.m^2}} \right) . 0,9 \quad (4)$$

Sendo que:

T_a: temperatura ambiente medida (ºC);

TNOC (ºC): A maioria dos catálogos de módulos FV, especificam o coeficiente TNOC (temperatura nominal de operação da célula ou NOCT *"nominal operation cell temperature"*, em inglês), que é a temperatura alcançada pelos módulos fotovoltaicos, com circulação de ar livre *"all-around"*, em condições normais definidas pela norma IEC/TS 61836 como:Irradiância Solar = 800 W/m², temperatura ambiente=20°C, velocidade do vento = 1 m/s.

Cabe salientar que o valor obtido pela Equação 3 corresponde ao valor teórico ideal e não leva em conta as perdas no processo de seguimento do ponto de máxima potência (SPMP) representada por η_{spmp}[1], portanto, o valor mais realístico de potência CC entregue ao inversor pode ser obtido pela equação 5.

$$P_{mp} = Po_{FV} \frac{Ht,\beta}{Href} \left[1 - \gamma mp(Tc - Tc,ref)\right] \eta_{spmp} \quad (5)$$

MODELO DE EFICIÊNCIA DE CONVERSÃO[2]

Para calcular a potência de saída do inversor, utilizou-se o modelo de eficiência de conversão proposto por Jantsch, Schmidt e Schmid (1992), o qual depende da potência de saída do conversor CC/CA. O modelo mostra que a eficiência de conversão é uma função dependente do autoconsumo e do carregamento do equipamento. Com base nos efeitos físicos envolvidos, representados por k_0, k_1 e k_2, tem-se a equação 6.

$$\eta = \frac{P_{saida}}{P_{entrada}} = \frac{P_{saida}}{P_{saida} + k_0 + k_1 * P_{saida} + k_2 * P_{saida}^2} \quad (6)$$

[1]Por ser um parâmetro difícil de ser modelado, adotam-se valores médios para o ηspmp de acordo com a faixa de potência de operação CC. Esses valores são, por exemplo, 98% para potências superiores a 20 % da potência nominal do inversor em CC, e entre 80-90%para valores menores ou iguais a 20% da potência nominal do inversor em CC [MACEDO, 2010].

[2]JANTSCH, M.; SCHMIDT, H.; SCHMID, J. Results of the Concerted Actions on power Conditioning and Control.11º European Photovoltaic Solar Energy Conference, Montreux, Suiça, 1992.

4.1 METODOLOGIA

Sendo que $p_{saída} = P_{saída} / P^0_{inv}$ é a potência normalizada com relação à potência nominal do inversor. Sendo assim, os demais parâmetros no denominador da equação 6 quantificam as perdas operacionais[3] de conversão do inversor, ou seja, K_0 são as perdas por autoconsumo; K_1 são as perdas por quedas de tensão nos diodos e dispositivos de chaveamento e K_2 são as perdas ôhmicas. Os parâmetros K_0, K_1 e K_2 são calculados por meio das equações 7, 8 e 9.

$$k_0 = \frac{1}{9} * \frac{1}{\eta_{inv}1} - \frac{1}{4} * \frac{1}{\eta_{inv}0{,}5} + \frac{5}{36} * \frac{1}{\eta_{inv}0{,}1} \quad (7)$$

$$k_1 = \frac{-4}{93} * \frac{1}{\eta_{inv}1} + \frac{33}{12} * \frac{1}{\eta_{inv}0{,}5} - \frac{5}{12} * \frac{1}{\eta_{inv}0{,}1} - 1 \quad (8)$$

$$k_2 = \frac{20}{9} * \frac{1}{\eta_{inv}1} - \frac{5}{2} * \frac{1}{\eta_{inv}0{,}5} + \frac{5}{18} * \frac{1}{\eta_{inv}0{,}1} \quad (9)$$

Onde $\eta_{inv}1$, $\eta_{inv}0{,}5$ e $\eta_{inv}0{,}1$ são os valores da eficiência instantânea correspondentes à operação do inversor a 100%, 50% e 10% da potência nominal, respectivamente. Finalmente, reorganizando algebricamente a equação 6 teremos a equação 10:

$$P_{saida\ /\eta inv} = P_{saida} + (k_0 + k_1 * P_{saida} + k_2 * P^2_{saida}) \quad (10)$$

Onde:
P_{FV} = Potência do gerador fotovoltaico.
$P_{saída}$ = Potência de saída do inversor.

A equação 10 é utilizada para calcular a potência de saída por meio dos modelos descritos anteriormente, sendo que:

$P_{saída} = Pmáx_{inv}$ se $P_{saída} \geq Pmáx_{inv}$
$P_{saída} = 0$ se $P_{FV} = \leq k_0 P^0_{inv}$
$P_{saída} = P_{saída} P^0_{inv}$ se $k_0 P^0_{inv} < P_{saída} < Pmáx_{inv}$

A metodologia utilizada supõe que o inversor limita a potência de saída em sua potência máxima CA fornecida pelo fabricante. É importante salientar que, para algumas situações, a potência limite é utilizada como a própria potência nominal do inversor. Essa consideração é necessária em ocasiões as quais não se dispõe de informações a respeito dos valores máximos permissíveis para a operação do inversor em estudo, sem prejudicar sua integridade física.

MESOREGIÕES

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o estado de Minas Gerais é dividido em doze mesorregiões de forma a facilitar aplicações importantes na elaboração de políticas públicas e no subsídio ao sistema de decisões quanto à localização de atividades econômicas, sociais e tributárias. Além disso, esta divisão contribui também, para as atividades de planejamento, estudos e identificação das estruturas espaciais de regiões metropolitanas e outras formas de aglomerações urbanas e rurais. A Figura 54 mostra as 12 mesorregiões estabelecidas pelo IBGE para o estado de Minas Gerais.

Fonte: IBGE (2014)
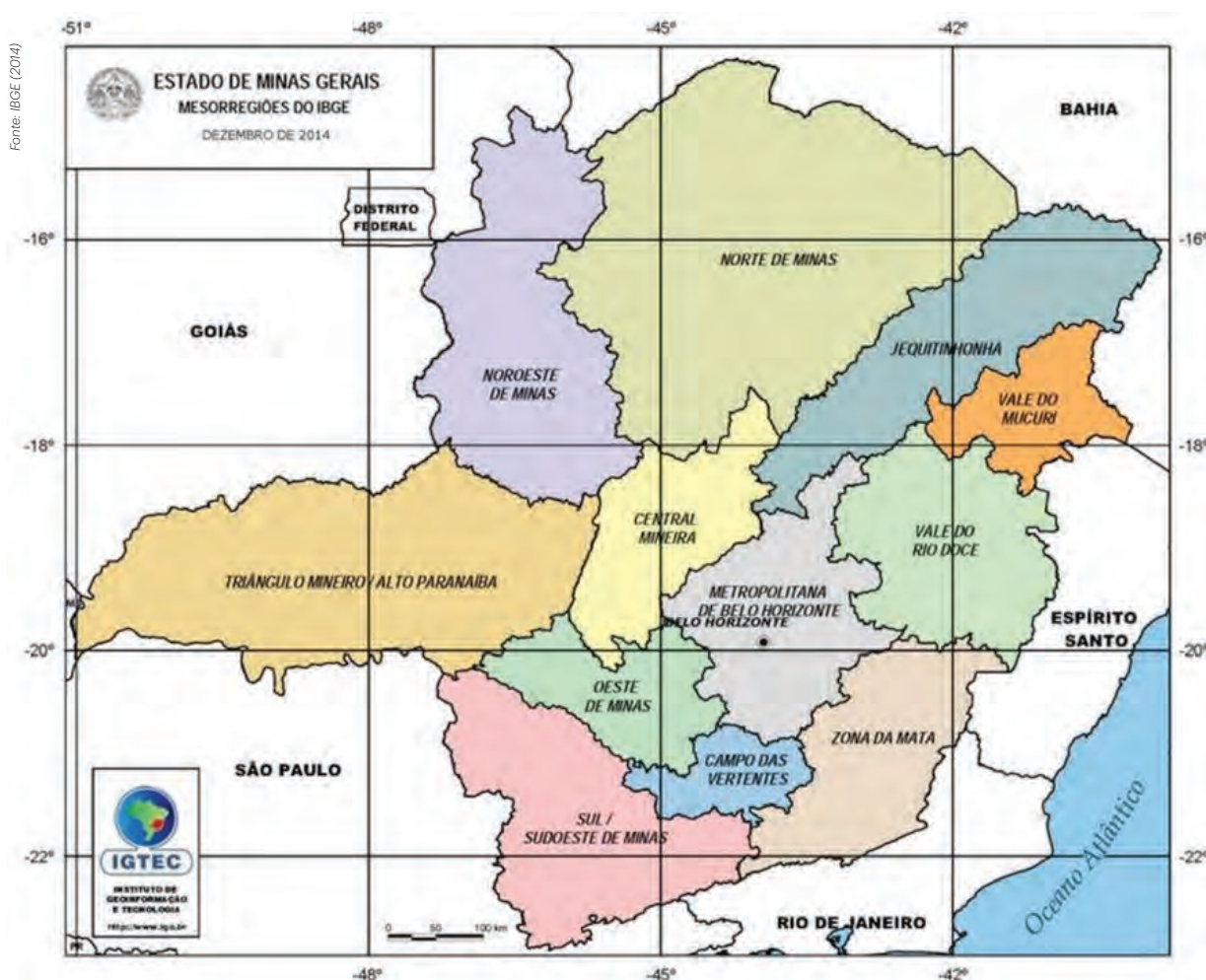
Figura 54 . Mesorregiões estabelecidas pelo IBGE para o estado de Minas Gerais.

---

[3]Outros tipos de perdas (fiação, dispersão módulos, fusíveis e etc) podem ser inseridas no processo de cálculo de forma que o modelo utilizado se aproxime mais da realidade.

4.1 METODOLOGIA

De acordo com as doze mesorregiões estabelecidas pelo IBGE para o estado de Minas Gerais, foram realizadas simulações[4] para seis cidades mineiras[5] contidas em cada mesorregião, utilizando os modelos apresentados anteriormente inseridos em uma ferramenta computacional (Matlab R2013), que resultaram na estimativa de geração de energia elétrica por meio de um sistema fotovoltaico conectado à rede hipotético. As características do SFCR utilizado nas simulações são apresentadas na Tabela 8.

Dados solarimétricos / meteorológicos: INPE[1] **Orientação (azimute):** Norte Geográfico **Inclinação:** igual a latitude local
Potência Pico: 500 kWp **1 inversor central:** 570 kW **1.960 Módulos (c-Si):** 255 Wp / cada **FDI:** 0,88

Tabela 8 . Características do sistema

Conforme é possível observar na Tabela 8, para a realização das simulações, dados solarimétricos e meteorológicos (média mensal) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) foram utilizados. Em relação a configuração do SFCR, o mesmo foi direcionado (ângulo azimutal de superfície) para o norte geográfico e a inclinação considerada foi igual a latitude das cidades simuladas. Além disso, foi estipulado um sistema fotovoltaico hipotético com capacidade instalada de 500 kWp constituído de 1.960 módulos fotovoltaicos com tecnologia de silício cristalino (c-Si) acoplados a um inversor central de 570 kW de potência nominal. Essa configuração fornece um fator de dimensionamento do inversor (FDI[7]) de 0,88.

Na próxima seção, são apresentados, após simulações, os resultados encontrados para as figuras de mérito técnico, ou seja, Energia Específica (EE) e Rendimento Global do Sistema (PR) para as seis cidades selecionadas de cada mesorregião estabelecida pelo IBGE.

---

[4]De forma que as simulações realizadas tentem representar melhor a realidade, foram implementadas as perdas: “mismatching”, ôhmicas, sujeiras, envelhecimento sendo que as perdas por temperatura e perdas por conversão c.c./c.a. já estão incluídas nos modelos matemáticos apresentados anteriormente.

[5] Escolhidas de forma aleatória e que representam a mesotregião.

4.2
RESULTADOS SIMULAÇÕES

MESORREGIÃO OESTE DE MINAS GERAIS

A Tabela 9 apresenta a EE e PR mensais e anuais para as cidades de Divinópolis, Oliveira, Campo Belo, Piumhi, Nova Serrana e Formiga, todas localizadas na mesorregião Oeste de Minas Gerais.

Mesoregião Oeste MG											
Divinópolis - MG		Oliveira - MG		Campo Belo - MG		Piumhi-MG		Nova Serrana - MG		Formiga-MG	
Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp
JAN	175,39	JAN	168,23	JAN	174,51	JAN	164,72	JAN	175,98	JAN	179,27
FEV	129,44	FEV	121,62	FEV	119,31	FEV	117,49	FEV	134,27	FEV	121,79
MAR	120,46	MAR	115,1	MAR	118,4	MAR	116,45	MAR	124,55	MAR	120,57
ABR	99,48	ABR	96.12	ABR	90,76	ABR	97,5	ABR	98,92	ABR	97,92
MAI	75,28	MAI	72,35	MAI	70,91	MAI	73,89	MAI	75,42	MAI	72,45
JUN	60,26	JUN	57,76	JUN	56,77	JUN	58,86	JUN	60,56	JUN	58,51
JUL	65,65	JUL	63,07	JUL	62,9	JUL	64,44	JUL	67,01	JUL	64,24
AGO	89,11	AGO	85,23	AGO	84,36	AGO	88,34	AGO	91,09	AGO	87,68
SET	108,19	SET	104,03	SET	102,2	SET	107,64	SET	108,32	SET	106,08
OUT	156,58	OUT	149,39	OUT	150.86	OUT	158,21	OUT	158,77	OUT	156,69
NOV	127,31	NOV	125,14	NOV	127,33	NOV	129,84	NOV	126,56	NOV	130,22
DEZ	159,1	DEZ	152,83	DEZ	151,73	DEZ	153,42	DEZ	157,03	DEZ	151,99
Anual	1366	Anual	1311	Anual	1310	Anual	1331	Anual	1378	Anual	1347
PR	0,79	PR	0,788	PR	0,78	PR	0,79	PR	0,79	PR	0,79

Tabela 9 . EE e PR mensais e anuais para cidades na mesorregião Oeste de Minas Gerais.

Como é possível visualizar pela Tabela 9, os resultados encontrados para as seis cidades escolhidas são próximos um dos outros para EE (kWh / kWp) e praticamente iguais para PR, portanto, a média anual encontrada para a região foi de 1.341 kWh / kWp (EE) e 0,79 (PR) para a mesorregião.

4.2 RESULTADOS SIMULAÇÕES

MESORREGIÃO CAMPO DAS VERTENTES

A Tabela 10 apresenta a EE e PR mensais e anuais para as cidades de Lavras, Barbacena, São João Del Rey (SJD), Nepomuceno, Nazareno e Carrancas, todas localizadas na mesorregião Campo das Vertentes.

Mesorregião Campo das Vertentes											
Lavras - MG		Barbacena - MG		SJD		Nepomuceno - MG		Nazareno - MG		Carrancas - MG	
Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp
JAN	167,21	JAN	158,01	JAN	166,11	JAN	168,36	JAN	174,79	JAN	162,14
FEV	120,76	FEV	107,11	FEV	109,59	FEV	125,02	FEV	109,27	FEV	116,12
MAR	116,64	MAR	111,28	MAR	118,78	MAR	116,85	MAR	118,81	MAR	119,57
ABR	94,79	ABR	89,59	ABR	90,19	ABR	95,05	ABR	92,16	ABR	94,21
MAI	69,24	MAI	68,94	MAI	70,74	MAI	69,82	MAI	69,29	MAI	69,45
JUN	55,78	JUN	55,39	JUN	56,79	JUN	55,87	JUN	55,96	JUN	55,6
JUL	61,73	JUL	61,23	JUL	62,8	JUL	61,71	JUL	61,92	JUL	61,36
AGO	83,64	AGO	80,59	AGO	82,76	AGO	83,09	AGO	83,24	AGO	82,66
SET	101,31	SET	91,68	SET	102,81	SET	102,48	SET	101,7	SET	102,66
OUT	149,47	OUT	141,24	OUT	143,96	OUT	148,29	OUT	145,61	OUT	139,75
NOV	137,56	NOV	114,44	NOV	131,92	NOV	137,48	NOV	133,1	NOV	131,52
DEZ	145,71	DEZ	145,76	DEZ	143,87	DEZ	145,72	DEZ	142,27	DEZ	131,6
Anual	1304	Anual	1225	Anual	1280	Anual	1310	Anual	1288	Anual	1267
PR	0,78	PR	0,785	PR	0,79	PR	0,78	PR	0,78	PR	0,78

***Tabela 10 .** EE e PR mensais e anuais para cidades na mesorregião Campo das Vertentes.*

Como é possível visualizar pela Tabela 10, os resultados encontrados para as cidades de Nepomuceno e Lavras, entres as seis cidades escolhidas, foram os maiores, ou seja, as duas cidades apresentaram EE (kWh / kWp) praticamente similares (1310 e 1304 respectivamente) e PR´s iguais (0,78). A média anual encontrada para a região foi de 1279 kWh / kWp (EE) e 0,78 (PR) para a mesorregião.

MESORREGIÃO ZONA DA MATA

A Tabela 11 apresenta a EE e PR mensais e anuais para as cidades de Visconde do Rio Branco, Viçosa, Juiz de Fora, Leopoldina, Ponte Nova e Manhuaçu, todas localizadas na mesorregião Zona da Mata.

Mesorregião Zona da Mata											
Visconde do Rio Branco -MG		Viçosa - MG		Juiz de Fora - MG		Leopoldina - MG		Ponte Nova - MG		Manhuaçu - MG	
Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp
JAN	158,4	JAN	161,83	JAN	152,54	JAN	159,08	JAN	170,93	JAN	167,1
FEV	111,3	FEV	121,43	FEV	105,96	FEV	117,69	FEV	121,85	FEV	128,87
MAR	105,95	MAR	107,79	MAR	105,96	MAR	106,3	MAR	109,36	MAR	113,73
ABR	88,29	ABR	88,97	ABR	86,86	ABR	88,05	ABR	91,8	ABR	93,07
MAI	69,38	MAI	69,28	MAI	67,48	MAI	68,43	MAI	71,43	MAI	73,33
JUN	56,3	JUN	57,15	JUN	54,29	JUN	55,32	JUN	58,03	JUN	59,93
JUL	62,13	JUL	63,67	JUL	59,99	JUL	61,09	JUL	65,58	JUL	68,04
AGO	82,77	AGO	84,92	AGO	78,15	AGO	80,11	AGO	85,59	AGO	89,57
SET	98,5	SET	99,24	SET	91,86	SET	93,13	SET	97,42	SET	95,21
OUT	143,89	OUT	139,42	OUT	137,83	OUT	133,13	OUT	143,38	OUT	140,99
NOV	125,36	NOV	124,09	NOV	120,08	NOV	128,01	NOV	118,95	NOV	114,98
DEZ	151,87	DEZ	152,92	DEZ	147,95	DEZ	153,28	DEZ	148,59	DEZ	143,75
Anual	1254	Anual	1271	Anual	1209	Anual	1244	Anual	1283	Anual	1289
PR	0,78	PR	0,785	PR	0,79	PR	0,78	PR	0,78	PR	0,8

Tabela 11 . EE e PR mensais e anuais para cidades na mesorregião Zona da Mata.

Como é possível visualizar pela Tabela 11, os resultados encontrados para as seis cidades escolhidas são próximos um dos outros para EE (kWh / kWp) e praticamente similares para PR, portanto, a média anual encontrada para a região foi de 1258 kWh / kWp (EE) e 0,79 (PR) para a mesorregião.

MESORREGIÃO CENTRAL DE MINAS

A Tabela 12 apresenta a EE e PR mensais e anuais para as cidades de Abaeté, Curvelo, Três Marias, Buenópolis, Bom Despacho e Pompéu, todas localizadas na mesorregião Central de Minas.

Mesorregião Central Minas											
Abaeté -MG		Curvelo -MG		Três Marias - MG		Buenópolis -MG		Bom Despacho - MG		Pompéu-MG	
Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp
JAN	171,09	JAN	161,04	JAN	163,48	JAN	167,27	JAN	180,03	JAN	168,52
FEV	126,88	FEV	130,05	FEV	131,26	FEV	130,19	FEV	129,6	FEV	135,08
MAR	124,18	MAR	128,87	MAR	126,72	MAR	125,77	MAR	129,6	MAR	130,01
ABR	100,02	ABR	104,34	ABR	105,79	ABR	100,84	ABR	98,72	ABR	100,17
MAI	76,96	MAI	79,28	MAI	84,12	MAI	83,6	MAI	76,67	MAI	78,36
JUN	62,41	JUN	64,16	JUN	65,2	JUN	68,89	JUN	60,92	JUN	63,69
JUL	68,95	JUL	72,47	JUL	73,43	JUL	74,05	JUL	67,55	JUL	70,54
AGO	93,32	AGO	100,79	AGO	103,33	AGO	102,97	AGO	92,18	AGO	97,11
SET	109,92	SET	117,73	SET	121,27	SET	123,09	SET	109,08	SET	107,9
OUT	155,92	OUT	157,25	OUT	161,57	OUT	159,48	OUT	156,48	OUT	160,43
NOV	132,26	NOV	137,33	NOV	138,96	NOV	118,31	NOV	134,14	NOV	129,4
DEZ	162,66	DEZ	164,63	DEZ	167,6	DEZ	153,77	DEZ	156,01	DEZ	158,8
Anual	1385	Anual	1418	Anual	1443	Anual	1408	Anual	1391	Anual	1400
PR	0,79	PR	0,804	PR	0,806	PR	0,78	PR	0,79	PR	0,8

Tabela 12 . EE e PR mensais e anuais para cidades na mesorregião Central de Minas.

Como é possível visualizar pela Tabela 12, os resultados encontrados para as cidades de Três Marias e Curvelo, entres as seis cidades escolhidas, foram os maiores, ou seja, as duas cidades apresentaram EE (kWh / kWp) acima de 1400 (1443 e 1418 respectivamente) e PR´s iguais (0,80). A média anual encontrada para a região foi de 1407 kWh / kWp (EE) e 0,80 (PR) para a mesorregião.

MESORREGIÃO NOROESTE DE MINAS

A Tabela 13 apresenta a EE e PR mensais e anuais para as cidades de Paracatu, Unaí, Guarda Mor, Buritis, Brasilândia e Arinos, todas localizadas na mesorregião Noroeste de Minas.

Mesorregião Noroeste de Minas											
Paracatu-MG		Unaí-MG		Guarda-Mor -MG		Buritis-MG		Brasilândia de MG		Arinos MG	
Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp
JAN	167,16	JAN	163,51	JAN	173,29	JAN	168,71	JAN	168,9	JAN	168,9
FEV	127,52	FEV	137,62	FEV	122,78	FEV	133,67	FEV	141,61	FEV	141,6
MAR	124,91	MAR	122,78	MAR	126,3	MAR	132,94	MAR	136,97	MAR	136,97
ABR	111,64	ABR	113,92	ABR	109,62	ABR	121,2	ABR	111,2	ABR	111,19
MAI	87,98	MAI	92,17	MAI	85,37	MAI	91,31	MAI	87,13	MAI	87,12
JUN	70,22	JUN	71,65	JUN	67,57	JUN	69,75	JUN	72,3	JUN	72,29
JUL	79,23	JUL	83,48	JUL	74,78	JUL	87,35	JUL	77,34	JUL	77,34
AGO	108,55	AGO	113,97	AGO	106,82	AGO	117,43	AGO	111,91	AGO	111,9
SET	125,46	SET	128,1	SET	126,59	SET	130,78	SET	129,98	SET	129,97
OUT	167,09	OUT	161,65	OUT	162,65	OUT	158,6	OUT	165,11	OUT	165,11
NOV	135,85	NOV	135,82	NOV	133,58	NOV	122,35	NOV	129,83	NOV	129,83
DEZ	142,74	DEZ	140,93	DEZ	154,25	DEZ	139,42	DEZ	158,98	DEZ	158,98
Anual	1448	Anual	1466	Anual	1444	Anual	1474	Anual	1491	Anual	1491
PR	0,803	PR	0,804	PR	0,803	PR	0,81	PR	0,8	PR	0,8

Tabela 13 . EE e PR mensais e anuais para cidades na mesorregião Noroeste de Minas.

Como é possível visualizar pela Tabela 13, os resultados encontrados para as seis cidades escolhidas são próximos um dos outros para EE (kWh / kWp) e praticamente iguais para PR, portanto, a média anual encontrada para a região foi de 1469 kWh / kWp (EE) e 0,80 (PR) para a mesorregião.

4.2 RESULTADOS SIMULAÇÕES

MESORREGIÃO VALE DO RIO DOCE

A Tabela 14 apresenta a EE e PR mensais e anuais para as cidades de Governador Valadares, Ipatinga, Aimorés, Guanhães, Itambacuri e Resplendor, todas localizadas na mesorregião Vale do Rio Doce.

Mesorregião Vale do Rio Doce -MG											
Governador Valadares		Ipatinga - MG		Aimorés-MG		Guanhães-MG		Itambacuri-MG		Resplendor-MG	
Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp
JAN	172,39	JAN	172,9	JAN	156,41	JAN	161,77	JAN	152,56	JAN	159,86
FEV	124,56	FEV	122,34	FEV	129,32	FEV	133,85	FEV	123,82	FEV	120,81
MAR	118,26	MAR	107,31	MAR	121,93	MAR	114,06	MAR	122,43	MAR	116
ABR	96,82	ABR	96,19	ABR	96,44	ABR	91,19	ABR	93,92	ABR	97,66
MAI	75,37	MAI	75,68	MAI	74,8	MAI	78,65	MAI	79,48	MAI	75,82
JUN	63,6	JUN	61,6	JUN	60,44	JUN	61,64	JUN	64,12	JUN	61,74
JUL	72,37	JUL	70,35	JUL	71,09	JUL	73,09	JUL	74,66	JUL	71,62
AGO	91,64	AGO	88,26	AGO	91,15	AGO	91,6	AGO	95,6	AGO	91,53
SET	93,84	SET	100,72	SET	91,85	SET	97,98	SET	97,69	SET	93,97
OUT	136,82	OUT	135,93	OUT	129,02	OUT	142,28	OUT	133,17	OUT	134,38
NOV	125,99	NOV	124,36	NOV	130	NOV	120,8	NOV	131,62	NOV	121,78
DEZ	142,97	DEZ	150,59	DEZ	160,84	DEZ	149,43	DEZ	140,89	DEZ	149,12
Anual	1315	Anual	1306	Anual	1313	Anual	1316	Anual	1310	Anual	1294
PR	0,798	PR	0,797	PR	0,802	PR	0,79	PR	0,79	PR	0,8

Tabela 14 . EE e PR mensais e anuais para cidades na mesorregião Vale do Rio Doce.

Como é possível visualizar pela Tabela 14, os resultados encontrados para as seis cidades escolhidas são próximos um dos outros para EE (kWh / kWp) e praticamente iguais para PR, portanto, a média anual encontrada para a região foi de 1309 kWh / kWp (EE) e 0,80 (PR) para a mesorregião.

MESORREGIÃO VALE DO MUCURI

A tabela 15 apresenta a EE e PR mensais e anuais para as cidades de Teófilo Otoni, Carlos Chagas, Nanuque, Malacacheta, Ataléia e Crisólita, todas localizadas na mesorregião Vale do Mucuri.

Mesoregião Vale do Mucuri -MG											
Teofilo Otoni -MG		Carlos Chagas - MG		Nanuque-MG		Malacacheta-MG		Ataléia-MG		Crisólita-MG	
Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp
JAN	155,05	JAN	150,04	JAN	161,33	JAN	171,44	JAN	153,96	JAN	163,64
FEV	126,18	FEV	124,49	FEV	134,74	FEV	131,05	FEV	132,22	FEV	135,21
MAR	119,07	MAR	118,83	MAR	120,71	MAR	125,22	MAR	123,91	MAR	122,32
ABR	95,29	ABR	96,03	ABR	97,1	ABR	90,56	ABR	94,21	ABR	94,33
MAI	79,18	MAI	77,2	MAI	78,67	MAI	80,14	MAI	77,24	MAI	80,11
JUN	62,4	JUN	63,3	JUN	65,57	JUN	62,55	JUN	64,29	JUN	59,97
JUL	74,01	JUL	72,97	JUL	72,6	JUL	74,19	JUL	71,96	JUL	76,34
AGO	94,15	AGO	90,45	AGO	93,69	AGO	98,07	AGO	91,89	AGO	96,32
SET	97,93	SET	98,08	SET	101,49	SET	102,78	SET	101,26	SET	103,27
OUT	134,25	OUT	134,71	OUT	138,06	OUT	144,32	OUT	131,55	OUT	128,29
NOV	127,07	NOV	130,63	NOV	132,34	NOV	128,8	NOV	133,24	NOV	131,81
DEZ	140,58	DEZ	142,95	DEZ	145,77	DEZ	139,89	DEZ	134,07	DEZ	141,16
Anual	1305	Anual	1300	Anual	1342	Anual	1349	Anual	1310	Anual	1333
PR	0,797	PR	0,792	PR	0,8	PR	0,799	PR	0,79	PR	0,79

Tabela 15 . EE e PR mensais e anuais para cidades na mesorregião Vale do Mucuri.

Como é possível visualizar pela Tabela 15, os resultados encontrados para as cidades de Nanuque e Malacacheta, entres as seis cidades escolhidas, foram os maiores, ou seja, as duas cidades apresentaram EE (kWh / kWp) próximos (1342 e 1349, respectivamente) bem como PR´s também (0,80). A média anual encontrada para a região foi de 1323 kWh / kWp (EE) e 0,79 (PR) para a mesorregião.

4.2 RESULTADOS SIMULAÇÕES

MESORREGIÃO VALE DO JEQUITINHONHA

A Tabela 16 apresenta a EE e PR mensais e anuais para as cidades de Diamantina, Itamarandiba, Araçuaí, Almenara, Capelinha e Pedra Azul, todas localizadas na mesorregião Vale do Jequitinhonha.

Mesorregião Vale Jequitinhonha -MG											
Diamantina-MG		Itamarandiba _MG		Araçuai-MG		Almenara -MG		Capelinha -MG		Pedra Azul -MG	
Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp
JAN	159,06	JAN	162,85	JAN	182,29	JAN	153,08	JAN	172,61	JAN	167,93
FEV	135,58	FEV	133,78	FEV	139,08	FEV	129,37	FEV	135,49	FEV	132,7
MAR	123,45	MAR	124,61	MAR	139,92	MAR	120,56	MAR	126,46	MAR	116,95
ABR	92,64	ABR	94,01	ABR	103,96	ABR	103,34	ABR	95,94	ABR	97,42
MAI	82,16	MAI	81,88	MAI	87,63	MAI	87,34	MAI	82,93	MAI	88,47
JUN	65,06	JUN	64,03	JUN	64,03	JUN	68,19	JUN	64,1	JUN	66,4
JUL	72,37	JUL	72,67	JUL	78,72	JUL	80,04	JUL	75,46	JUL	79,78
AGO	95,75	AGO	95,51	AGO	101,23	AGO	93,59	AGO	97,02	AGO	97,64
SET	107,23	SET	102,71	SET	107,52	SET	104,99	SET	102,62	SET	104,81
OUT	154,99	OUT	140,72	OUT	140,42	OUT	126,48	OUT	141,87	OUT	143,14
NOV	139,15	NOV	127,39	NOV	137,71	NOV	139,65	NOV	131,95	NOV	137,52
DEZ	141,36	DEZ	126,43	DEZ	139,08	DEZ	134,79	DEZ	130,11	DEZ	138,03
Anual	1369	Anual	1327	Anual	1422	Anual	1341	Anual	1357	Anual	1371
PR	0,786	PR	0,788	PR	0,805	PR	0,794	PR	0,794	PR	0,794

Tabela 16 . EE e PR mensais e anuais para cidades na mesorregião Vale do Jequitinhonha.

Como é possível visualizar pela Tabela 16, os resultados encontrados para a cidade de Araçuaí, entres as seis cidades escolhidas, foram os maiores, ou seja, a cidade apresentou EE (kWh / kWp) de 1422 e PR (0,80). A média anual encontrada para a região foi de 1367 kWh / kWp (EE) e 0,79 (PR) para a mesorregião.

MESORREGIÃO METROPOLITANA DE BELO HORIZONTE

A Tabela 17 apresenta a EE e PR mensais e anuais para as cidades de Belo Horizonte, Sete Lagoas, Conceição do Mato Dentro, Itabira, Itaguara e Conselheiro Lafaiete, todas localizadas na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte.

Mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte											
Sete Lagoas - MG		Belo Horizonte - MG		Conceição Mato Dentro - MG		Itabira-MG		Itaguara - MG		Conselheiro Lafaiete - MG	
Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp
JAN	169,55	JAN	166,66	JAN	178,09	JAN	160,28	JAN	163,73	JAN	165,46
FEV	124,98	FEV	122,4	FEV	117,47	FEV	122,36	FEV	126,12	FEV	114,49
MAR	128,65	MAR	128,03	MAR	127,68	MAR	110,56	MAR	122,24	MAR	115,15
ABR	102,91	ABR	97,04	ABR	93,67	ABR	92,82	ABR	97,12	ABR	92,45
MAI	78,06	MAI	74,83	MAI	78,04	MAI	76,5	MAI	75,19	MAI	72,15
JUN	62,06	JUN	60,67	JUN	60,68	JUN	62,26	JUN	60,41	JUN	58,34
JUL	69,14	JUL	66,83	JUL	70,38	JUL	71,06	JUL	66,48	JUL	64,66
AGO	94,17	AGO	90,78	AGO	92,89	AGO	92,45	AGO	90,45	AGO	86
SET	110,75	SET	103,44	SET	95,4	SET	97,23	SET	104,02	SET	99,76
OUT	157,8	OUT	149,21	OUT	141,25	OUT	149,1	OUT	155,44	OUT	148,69
NOV	122,38	NOV	108,52	NOV	108,81	NOV	109,58	NOV	129,95	NOV	117,27
DEZ	157,46	DEZ	152,17	DEZ	144,58	DEZ	149,79	DEZ	157,85	DEZ	150,1
Anual	1378	Anual	1321	Anual	1309	Anual	1294	Anual	1349	Anual	1285
PR	0,794	PR	0,792	PR	0,791	PR	0,794	PR	0,804	PR	0,788

Tabela 17 . EE e PR mensais e anuais para cidades na mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte.

Como é possível visualizar pela Tabela 17, os resultados encontrados para a cidade de Sete Lagoas, entres as seis cidades escolhidas, foram os maiores, ou seja, a cidade apresentou EE (kWh / kWp) de 1322 e PR (0,79). A média anual encontrada para a região foi de 1367 kWh / kWp (EE) e 0,79 (PR) para a mesorregião.

4.2 RESULTADOS SIMULAÇÕES

MESORREGIÃO DO TRIÂNGULO MINEIRO E ALTO PARANAÍBA

A Tabela 18 apresenta a EE e PR mensais e anuais para as cidades de Uberlândia, Uberaba, Araxá, Ituitaba, Patos de Minas e União de Minas, todas localizadas na mesorregião Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

Mesoregião Triângulo Mineiro - Alto Paranaíba											
Uberlândia - MG		Uberaba - MG		Araxa-MG		Ituiutaba-MG		Patos de Minas-MG		União de Minas-MG	
Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp
JAN	152,85	JAN	164,74	JAN	171	JAN	171,92	JAN	170,89	JAN	164,57
FEV	124,38	FEV	124,53	FEV	116,7	FEV	122,13	FEV	121,59	FEV	121,27
MAR	126,56	MAR	123,64	MAR	124,56	MAR	126,14	MAR	125,57	MAR	124,2
ABR	106,39	ABR	104,4	ABR	103,58	ABR	108,84	ABR	104,79	ABR	107,68
MAI	81,54	MAI	75,75	MAI	77,71	MAI	79,44	MAI	82,36	MAI	80,44
JUN	62,37	JUN	60,43	JUN	61,72	JUN	64,86	JUN	65,87	JUN	64,1
JUL	70,03	JUL	66,72	JUL	64,77	JUL	73,28	JUL	70,27	JUL	71,66
AGO	99,73	AGO	93,76	AGO	92,72	AGO	99,69	AGO	100,81	AGO	96,43
SET	118,09	SET	114,25	SET	109,32	SET	116,02	SET	119,87	SET	113,94
OUT	157,11	OUT	153,67	OUT	154,57	OUT	159,42	OUT	157,99	OUT	156,47
NOV	146,35	NOV	150,87	NOV	133,46	NOV	149,89	NOV	128,58	NOV	167,69
DEZ	152,44	DEZ	158,76	DEZ	151,61	DEZ	151,94	DEZ	157,5	DEZ	153,73
Anual	1398	Anual	1392	Anual	1362	Anual	1424	Anual	1406	Anual	1422
PR	0,799	PR	0,79	PR	0,791	PR	0,804	PR	0,795	PR	0,81

Tabela 18 . EE e PR mensais e anuais para cidades na mesorregião do Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba.

Como é possível visualizar pela Tabela 18, os resultados encontrados para as cidades de Ituiutaba e União de Minas, entres as seis cidades escolhidas, foram os maiores, ou seja, as duas cidades apresentaram EE (kWh / kWp) similares (1424 e 1422, respectivamente) e PR´s próximos (0,80 e 0,81, respectivamente). A média anual encontrada para a região foi de 1400 kWh / kWp (EE) e 0,80 (PR) para a mesorregião.

MESORREGIÃO NORTE DE MINAS

A Tabela 19 apresenta a EE e PR mensais e anuais para as cidades de Jaíba, Januária, Janaúba, Montes Claros, Pirapora e Salinas, todas localizadas na mesorregião Norte de Minas.

Mesorregião Norte de Minas											
Jaíba - MG		Januária - MG		Janaúba - MG		Montes Claros - MG		Pirapora - MG		Salinas- MG	
Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp
JAN	190,79	JAN	183,83	JAN	186,67	JAN	176,72	JAN	176,1	JAN	181,35
FEV	153,48	FEV	148,3	FEV	149,13	FEV	128,6	FEV	133,99	FEV	122,3
MAR	143,06	MAR	145,37	MAR	144,42	MAR	134,64	MAR	131,83	MAR	126,5
ABR	116,56	ABR	113,89	ABR	115,11	ABR	104,1	ABR	108,15	ABR	100,61
MAI	95,76	MAI	97,76	MAI	94,67	MAI	87,76	MAI	85,7	MAI	89,44
JUN	78,81	JUN	76,1	JUN	76,09	JUN	73,56	JUN	71,08	JUN	70
JUL	86,74	JUL	84,29	JUL	83,18	JUL	81,1	JUL	78,15	JUL	78,47
AGO	111	AGO	112,19	AGO	111,25	AGO	109,46	AGO	109,12	AGO	100,67
SET	136,33	SET	135,12	SET	132,53	SET	127,67	SET	127,03	SET	113,82
OUT	165,62	OUT	159,58	OUT	161,93	OUT	152,22	OUT	167,19	OUT	154,89
NOV	145,76	NOV	120,44	NOV	138,51	NOV	129,77	NOV	135,11	NOV	140,83
DEZ	134,27	DEZ	136,24	DEZ	131,04	DEZ	143,43	DEZ	151,65	DEZ	137,58
Anual	1558	Anual	1513	Anual	1525	Anual	1449	Anual	1475	Anual	1416
PR	0,805	PR	0,804	PR	0,806	PR	0,8	PR	0,8	PR	0,8

Tabela 19 . EE e PR mensais e anuais para cidades na mesorregião Norte de Minas.

Como é possível visualizar pela Tabela 19, os resultados encontrados para as cidades de Jaíba e Janaúba, entres as seis cidades escolhidas, foram os maiores, ou seja, as duas cidades apresentaram EE (kWh / kWp) similares (1558 e 1513, respectivamente) e PR´s iguais (0,80). A média anual encontrada para a região foi de 1489 kWh / kWp (EE) e 0,80 (PR) para a mesorregião.

4.2 RESULTADOS SIMULAÇÕES

MESORREGIÃO SUL E SUDOESTE DE MINAS

A Tabela 20 apresenta a EE e PR mensais e anuais para as cidades de Itajubá, Poços de Caldas, Três Corações, Pouso Alegre, Alfenas e Varginha, todas localizadas na mesorregião Sul e Sudoeste de Minas.

Mesorregião Sul/Sudoeste MG											
Itajubá-MG		Poços de Caldas MG		Três Corações - MG		Pouso Alegre-MG		Alfenas-MG		Varginha-MG	
Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp	Meses	kWh/kWp
JAN	165,9	JAN	168,5	JAN	172,31	JAN	171,71	JAN	168	JAN	171,87
FEV	121,12	FEV	123,92	FEV	120,7	FEV	120,55	FEV	124,86	FEV	121,32
MAR	109,72	MAR	110,21	MAR	114,75	MAR	112,3	MAR	116,11	MAR	115,57
ABR	90,56	ABR	94,45	ABR	94,1	ABR	92,92	ABR	93,65	ABR	94,81
MAI	63,6	MAI	66,77	MAI	68,37	MAI	66,33	MAI	68,21	MAI	69,15
JUN	51,05	JUN	53,35	JUN	54,91	JUN	53,4	JUN	54,53	JUN	55,18
JUL	55,6	JUL	58,93	JUL	60,85	JUL	58,41	JUL	60,59	JUL	61,36
AGO	76,03	AGO	79,7	AGO	82,63	AGO	80,09	AGO	81,84	AGO	83,04
SET	95,89	SET	102,61	SET	100,6	SET	98,52	SET	99,84	SET	102,77
OUT	141,3	OUT	143,58	OUT	149,68	OUT	147,33	OUT	148,79	OUT	151,76
NOV	134,1	NOV	141,94	NOV	140,61	NOV	139,73	NOV	134,98	NOV	139,68
DEZ	139,68	DEZ	138,95	DEZ	144,59	DEZ	135,47	DEZ	148,11	DEZ	148,38
Anual	1245	Anual	1283	Anual	1304	Anual	1277	Anual	1300	Anual	1315
PR	0,78	PR	0,785	PR	0,79	PR	0,79	PR	0,78	PR	0,79

Tabela 20 . EE e PR mensais e anuais para cidades na mesorregião do Sul e Sudoeste de Minas.

Como é possível visualizar pela Tabela 20, os resultados encontrados para a cidade de Varginha, entre as seis cidades escolhidas, foram os maiores, ou seja, a cidade apresentou EE (kWh / kWp) de 1315 e PR (0,79). A média anual encontrada para a região foi de 1287 kWh / kWp (EE) e 0,79 (PR) para a mesorregião.

Após realizada as simulações para diferentes cidades do estado de Minas Gerais, a Tabela 21 mostra os valores médios anuais da energia elétrica produzida por um SFCR encontrados para as 12 mesoregiões estabelecidas pelo IBGE.

Mesorregiões	Média Anual (kWh/kWp)	Média Anual - PR
Norte	1489	0,8
Noroeste	1469	0,8
Central de Minas	1407	0,8
Triângulo Mineiro	1400	0,8
Jequitinhonha	1364	0,79
Oeste	1341	0,79
Mucuri	1323	0,79
Metro BH	1322	0,79
Rio Doce	1309	0,8
Sul/Sudoeste	1287	0,79
Campo das Vertentes	1279	0,78
Zona da Mata	1258	0,79
Média Anual Estado MG	1354	0,79

Tabela 21 . EE e PR anuais para as 12 mesoregiões estabelecidas pelo IBGE.

Como é possível observar na Tabela 21, a mesorregião do Norte de Minas é a que possui um melhor aproveitamento da energia solar apresentando médias anuais de 1489 kWh / kWp e PR igual a 0,80 demonstrando, e comprovando, ser uma área de grande interesse para a utilização de energia solar fotovoltaica, bem como para outras tecnologias solares no estado de Minas Gerais. Cabe salientar que nesta região, cidades como Jaíba e Janaúba, como apresentado na Tabela 19, possuem valores médios energéticos próximos aos melhores valores do país tais como nas cidades de: Petrolina, em Pernambuco (EE anual 1574 kWh / kWp e PR igual 0,815); Caetité, na Bahia (EE anual 1569 kWh / kWp e PR igual 0,800) e Tauá no Ceará (EE anual 1646 kWh / kWp e PR igual 0,817).

4.2 RESULTADOS SIMULAÇÕES

Como é possível observar na Tabela 21, a mesorregião do Norte de Minas é a que possui um melhor aproveitamento da energia solar apresentando médias anuais de 1489 kWh / kWp e PR igual a 0,80 demonstrando, e comprovando, ser uma área de grande interesse para a utilização de energia solar fotovoltaica, bem como para outras tecnologias solares no estado de Minas Gerais. Cabe salientar que nesta região, cidades como Jaíba e Janaúba, como apresentado na Tabela 19, possuem valores médios energéticos próximos aos melhores valores do país tais como nas cidades de: Petrolina, em Pernambuco (EE anual 1574 kWh / kWp e PR igual 0,815); Caetité, na Bahia (EE anual 1569 kWh / kWp e PR igual 0,800) e Tauá no Ceará (EE anual 1646 kWh / kWp e PR igual 0,817).

Já a mesorregião da Zona da Mata apesar de ter apresentado o pior resultado no estado, em comparação com outras regiões / cidades do país como por exemplo: Florianópolis, Santa Catarina (EE anual média1092 kWh / kWp e PR médio igual 0,78); Curitiba, Paraná (EE anual média1124 kWh / kWp e PR médio igual 0,77) e Pelotas, Rio Grande do Sul (EE anual média 979 kWh / kWp e PR médio igual 0,77), podem ser considerados bons para o aproveitamento da energia solar fotovoltaica e também outras tecnologias solares.

Finalmente, o estado de Minas Gerais, de uma forma geral, possui uma média anual de 1354 kWh / kWp e 0,79 de rendimento global médio demonstrando ser um estado de grandes oportunidades para aplicação das tecnologias fotovoltaicas e também das demais tecnologias solares. A Figura 55 mostra as diferentes mesorregiões e seu aproveitamento energético para a energia solar fotovoltaica.
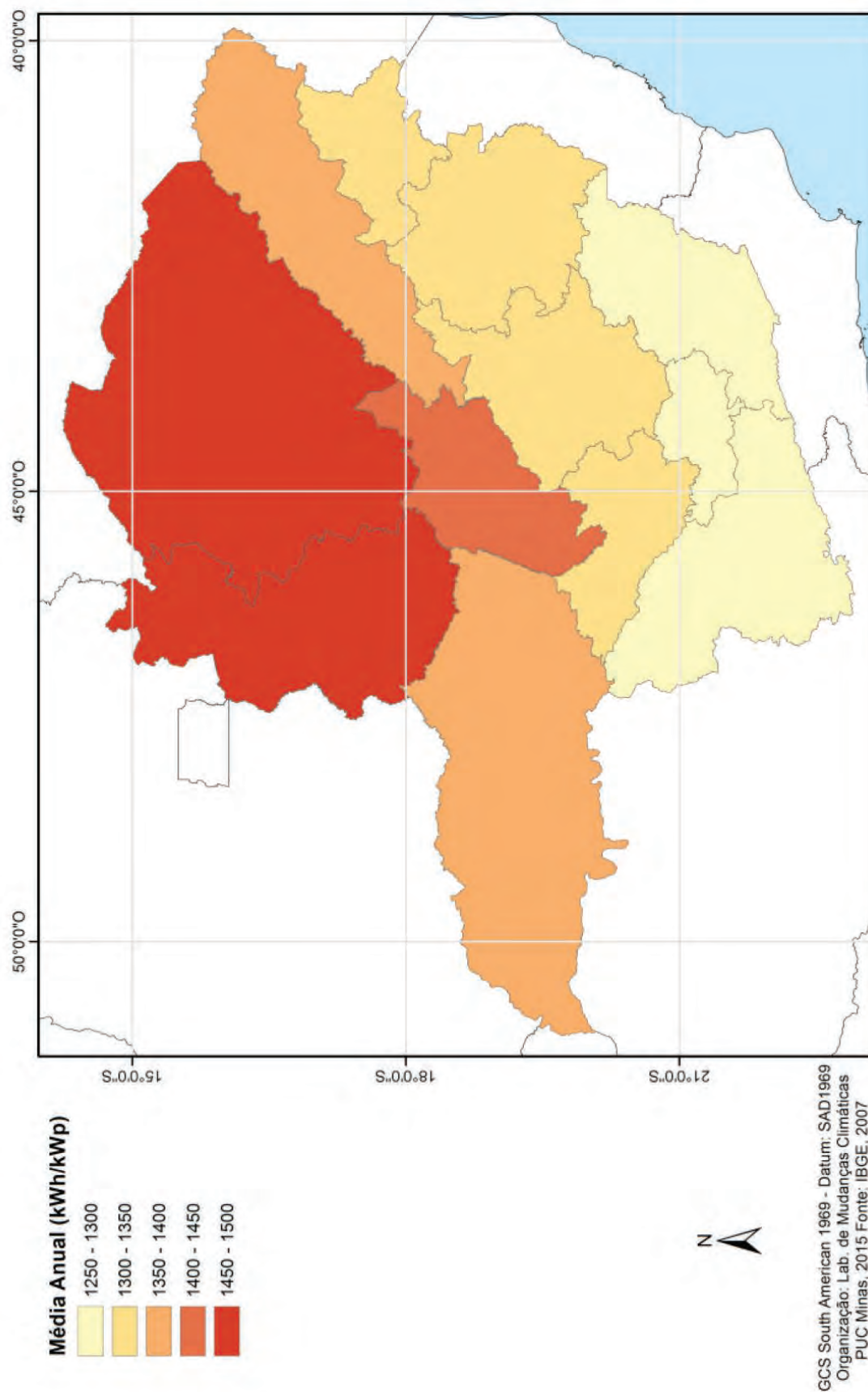
Figura 55 . Média annual de radiação solar (kWh/kWp).

5

CONCLUSÕES

Chigueru Tiba

Ruibran Januário dos Reis

Luís Guilherme Monteiro Oliveira

O conhecimento do recurso solar é importante para a reprodução ampliada e a difusão massiva do uso da energia solar para fins energéticos. A precisão do seu conhecimento espacial ou temporal permite agregar confiabilidade (menor risco) e qualidade aos sistemas solares repercutindo nos custos da energia gerada. O recurso solar é necessário para o projeto de sistemas solares em três aspectos principais:

- Estudo de localização de usinas solares (*siting*);
- Predição da produção anual, mensal ou diária da energia gerada para sistemas;
- Centralizados ou distribuídos e;
- Previsão do desempenho temporal e estratégias operacionais.

Em estudos de localização de usinas solares de grande porte, entre outras as seguintes variáveis são ponderadas: recurso solar (global ou direta conforme a tecnologia solar a ser utilizada: fixo ou com concentração) disponibilidade de terrenos de forma não conflituosa (terras agriculturáveis, reservas ou parque nacionais, reservas indígenas são excludentes), proximidade de acessos para transporte de equipamentos de porte ou delicados (espelhos), proximidade de linhas de transmissão disponibilidade local de água de boa qualidade (prescindíveis para sistemas fotovoltaicos). De forma individual, o conhecimento do recurso solar é a variável de maior peso nas incertezas associadas a um projeto de sistema energético solar. Para grandes centrais solares centralizadas com dimensões múltiplas de 30 MW, o custo benefício econômico (considerando o ciclo de vida da central), da medição local da radiação solar é liquido e certo. Além disso, é requisito obrigatório para participação nos leilões de energia elétrica organizadas pela Aneel.

A penetração ampla da geração FV distribuída em telhados de edifícios residenciais, instalações fabris e comerciais requer também de dados de irradiação solar, seja modelado ou medido para que os projetos sejam confiáveis e econômicos. Porém, em sistemas menores que 5 MW, a medição local é inviável economicamente e, nesse sentido, a estratégia para melhorar o conhecimento da irradiação solar é a modelagem. Isso significa utilizar das informações existentes ou melhorar essas informações por meio de fusões de fontes distintas ou utilização de técnicas de interpolação espacial ou geração de séries sintéticas de irradiação solar.

Finalmente quando o sistema solar (centralizado ou distribuído) estiver em operação, deverá ser continuamente monitorado e seu desempenho determinado. Isso deverá ser feito tanto para detectar anormalidades no funcionamento como também para traçar estratégias operacionais, por exemplo, de despacho. Para essa modelagem, é essencial como "*input*" a irradiação solar incidente sobre o sistema solar em escala de minuto ou sub-horária.

5.1
O CONTEXTO DO ATLAS SOLARIMÉTRICO I E II

O Atlas Solarimétrico de Minas Gerais Volume 1, publicado em fevereiro de 2012, foi elaborado com a convicção de que seria um instrumento de grande utilidade e visibilidade para alavancar a inserção da energia solar no Brasil e, particularmente, em Minas Gerais. Nos últimos três anos, o panorama da energia solar no Brasil e no mundo sofreu transformações revolucionárias.

O mercado fotovoltaico mundial, em 2015, foi caracterizado pelas seguintes fatos:

- Em termos de capacidade instalada cresceu 38,7 GW;
- A capacidade total instalada no mundo atingiu 177 GW;
- O uso da energia fotovoltaica espalhou-se no mundo: (a) 19 países tinham capacidade suficiente para produzir pelo menos 1% da sua demanda elétrica e (b) 20 países tinham no mínimo uma capacidade instalada de 1 GW;
- Os líderes de capacidade instalada são: Alemanha (38,2 GW), China (28,2 GW), Japão (23,3 GW), Itália (18,5 GW) e EUA (18,3GW).

Somente para efeito de comparação, no início de 2012 a capacidade instalada total era de 70,5 GW.

Ao final de 2015, conforme a Aneel, a capacidade instalada de geração fotovoltaica distribuída no período de vigência da Portaria 482 - iniciada em 2012 - era de 13,3 MW, correspondente a 1.675 sistemas. Ainda em 2015, ocorreu a entrada em operação de mais 11 MW em Tacaratu-PE, já como uma contribuição do primeiro leilão realizado no Brasil.

As oportunidades da energia solar no Brasil podem ser vislumbradas pelo conjunto de atividades programáticas e regulatórias do governo, a formação de associação de classe relacionada a indústria fotovoltaica, leilões em nível nacional e estadual, inicio de financiamentos específicos para compra ou instalação de equipamentos fotovoltaicos, o entusiasmo do setor privado em relações aos recentes leilões. Também cabe ressaltar a imensa curiosidade e aceitação do publico consumidor em geral.

A resolução normativa que regula a micro e a mini geração é a Resolução Normativa (REN) 482/2012 e a sua atualização REN 687/2015, de 24 de novembro de 2015, e em vigor a partir de 01 de março de 2016. A REN 482/2012, publicada em 19 de abril de 2012, estabeleceu as condições gerais para o acesso de micro e mini geração distribuída aos sistemas de distribuição de energia elétrica e ao sistema de compensação de energia elétrica. A REN 482/2012 criou um mecanismo de compensação de energia elétrica para os consumidores que produzirem sua própria energia elétrica por meio de uma central geradora, conhecida como micro e mini geração distribuída.

As principais alterações da REN 482 contida no REN 687/2015 são:

- Estabelecimento das modalidades de autoconsumo remoto e geração compartilhada: abrindo as portas para a geração em terrenos afastados do local de consumo, (mas ainda na área da mesma distribuidora, e para vizinhos que queiram participar do sistema de compensação de energia;
- Possibilidade de compensação de créditos de energia entre matrizes e filiais de grupos empresariais;
- Sistemas de geração distribuída condominiais (pessoas físicas e jurídicas);
- Ampliação da potência máxima de 1 para 5 MW;
- Ampliação da duração dos créditos de energia elétrica de 36 para 60 meses;
- Redução dos prazos de tramitação de pedidos junto às distribuidoras;
- Padronização dos formulários de pedido de acesso para todo o território nacional;
- Submissão e acompanhamento de novos pedidos pela internet a partir de 2017.
- A REN 687/2015, possivelmente impactará positivamente e permitirá um aumento exponencial da micro e mini geração no Brasil.

Uma expressiva capacidade de geração FV centralizada foi contratada nos últimos 2 anos no Brasil:

2013 – 10 Leilão Estadual Solar FV em Pernambuco – 12/2013

- Potência FV contratada: 92 MW (5 projetos aportaram garantias);
- Preço médio atualizados R$ 240,00 (US$ 110/MWh);
- Em operação a partir de 2016 ou 2017 (11 MW já estão operacionais).

2014 – Leilão de Energia de Reserva (LER) – 31/10/2014

- Total de projetos FV cadastrados: 400 (10.790 MW);
- Potência FV contratada: 1.048 MWp (31 projetos);
- Preço médio: R$ 215,12/MWh (U$$ 88/MWh);
- Em operação a partir de 09/2017.

2015 – 10 Leilão de Energia de Reserva (LER) 2015 – 28/08/2015

- Potência FV contratada: 1.043 MWp (30 projetos);
- Preço médio: R$ 301,79/MWh (U$$ 85/MWh);
- Em operação a partir de 08/2017.

2015 – 20 Leilão de Energia de Reserva (LER) 2015 – 13/11/2015

- Potência FV contratada: 1.115 MWp (33 projetos);
- Preço médio: R$ 297,75/MWh;
- Em operação a partir de 11/2018.

A perspectiva para 2016, de acordo com EPE - Empresa de Pesquisa Energética, é que haverá dois Leilões de Energia de Reserva no início do segundo semestre de 2016 para: pequenas centrais hidrelétricas (PCHs) e microcentrais (CGHs), eólica e solar. Também está previsto um leilão estadual em Minas Gerais, no segundo semestre de 2016.

5.2 CONTRIBUIÇÃO DO ATLAS SOLARIMÉTRICO DE MINAS GERAIS II

A análise de conjuntura da tecnologia solar, no mundo e no Brasil, visualiza uma contínua e acelerada taxa de inserção no mercado dessa tecnologia (solar FV ou térmica). A importância das informações solarimétricas no ciclo de vida da tecnologia solar já foi descrita anteriormente e, nesse sentido, cabe pontuar e discutir o papel das novas informações contidas no Atlas Solarimétrico de Minas Gerais II, nesse processo de reprodução ampliada da inserção da tecnologia solar. As novas informações são:

- Como foram instaladas e operadas as estações solarimétricas;
- Atualização dos mapas com novas informações;
- Mapa da irradiação solar diária e média mensal via imagens de satélites;
- Estimativa de geração fotovoltaica para o estado de Minas Gerais;

COMO FOI INSTALADA E OPERADA A REDE MEDIÇÃO SOLARIMÉTRICA DE ALTO DESEMPENHO

Todas as redes solarimétricas existentes anteriormente no Brasil com qualidades equivalentes às da Cemig (estado da arte da tecnologia de medição solar), no que concerne a qualidade dos sensores, frequência de aquisição de dados e medição dos três componentes da irradiação (global, direta e difusa) estão na Tabela 22. Cabe ressaltar que a rede Sonda não cobre o estado de Minas Gerais.

NOME DA REDE	Nº ESTAÇÕES	ABRANGÊNCIA	PERÍODO	OUTROS
CPTEC (sonda)	15	Brasil	2003⟶	Integr. 1 min/60 hz global, difusa e direta pública sensor classe
Cemig	5	Minas Gerais	2012⟶	Integr. 1 min/60 hz global, difusa e direta proprietário sensor classe 1
Energisa	3	Paraíba	2012⟶	Integr. 1 min/60 hz global, difusa e direta proprietário sensor classe 1
Chesf	15	NE do Brasil	2013⟶	Integr. 1 min/60 hz global, difusa e direta proprietário sensor classe 1

Tabela 22 . Redes solarimétricas existentes no Brasil que cobrem o estado de Minas Gerais.

A rede de medição solarimétrica da Cemig poderá funcionar como *BENCHMARKING* para outras subsidiárias, geradoras ou distribuidoras, que também planejam coletar dados solarimétricos locais, visando prever os impactos gerados no sistema de distribuição após implantação de usinas solares ou sistemas distribuídos. Nesse sentido, o *As Built* das estações solarimétricas desse projeto é uma descrição completa e um manual para assegurar a melhor prática de aquisição de dados de alta qualidade e da manutenção da estação solarimétrica.

5.2 CONTRIBUIÇÃO DO ATLAS SOLARIMÉTRICO DE MINAS GERAIS II

ATUALIZAÇÃO DOS MAPAS MENSAIS DA IRRADIAÇÃO SOLAR GLOBAL

De forma geral, os mapas de radiação solar global foram elaborados com o conjunto de informações disponíveis no momento, e que poderão ser factíveis de aperfeiçoamento e atualizações. Também, cabe ressaltar, o caráter provisório dos mapas existentes na medida em que refletem as medições passadas e, necessariamente, o presente e o futuro podem não refletir as propriedades estatísticas das leituras passadas. Isso é mais verdadeiro no contexto atual das mudanças climáticas global.

Os mapas mensais da irradiação solar global do Atlas Solarimétrico de Minas Gerais, volume I, foram elaborados utilizando dados da rede Inmet compreendido no período de 2008-2010. Os novos mapas foram atualizados considerando o período 2008-2015, utilizando dados de imagens de satélites.

Os mapas elaborados nos Atlas Solarimetrico, volume I e II, demonstram uma boa concordância, considerando-se que os valores médios mensais são bastante robustos. Porém, como já observados, os valores médios das séries mais longas tendem a produzir erros menores e por isso, são mais confiáveis. Portanto, os mapas elaborados considerando um período de três anos e outros de quinze anos, apresentam diferenças que podem ser observadas, por exemplo, na Figura 55, irradiação solar diária - média anual. A diferença mais notável da irradiação solar diária anual, são no Vale do Jequitinhonha e na região noroeste, demonstrando maior coerência espacial, visto que essas áreas são semiáridas e não uma continuidade da Zona da Mata. A diferença pode ser explicada porque séries de três anos tendem a enviesar mais as amostras. Alguns dos outros mapas mensais também apresentam algumas dessas distorções.
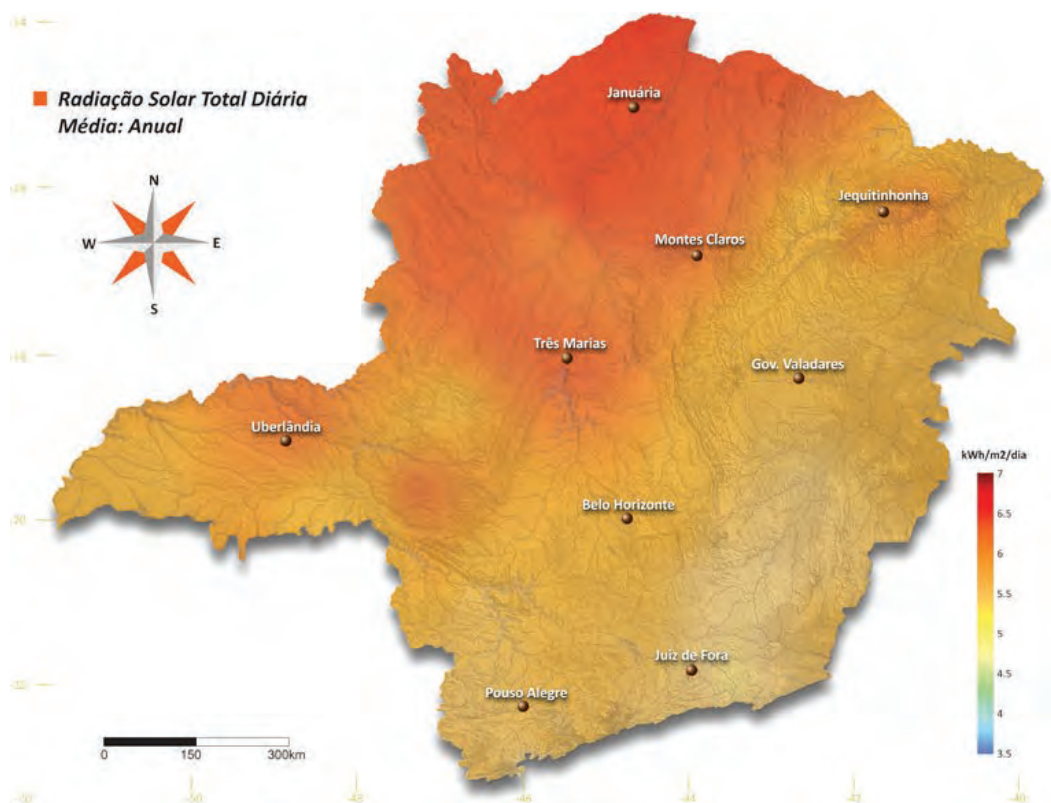
Figura 56A . Irradiação solar diária, média anual: período 2008-2010
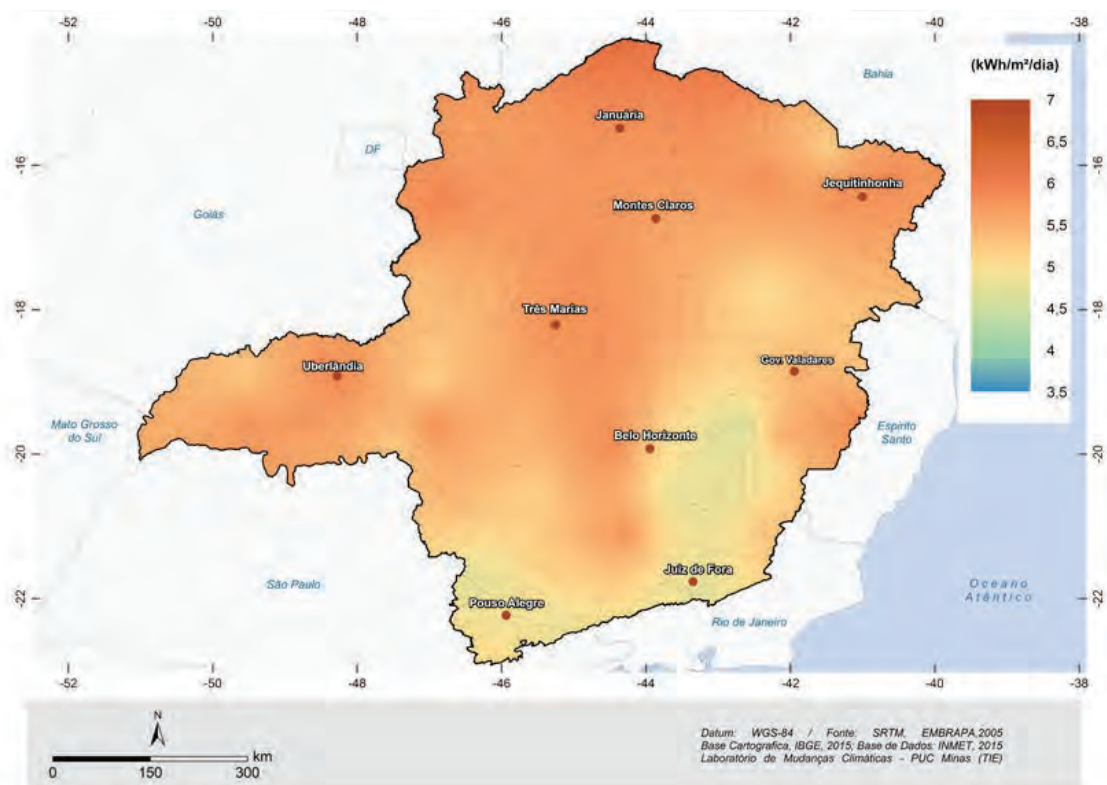
Figura 56B . Irradiação solar diária, média anual: período 2008-2015

5.2 CONTRIBUIÇÃO DO ATLAS SOLARIMÉTRICO DE MINAS GERAIS II

Em síntese, os mapas atualizados refletem melhor os efeitos fitogeográficos do estado de Minas Gerais e, portanto, melhoraram sensivelmente a informação da irradiação solar diária no estado.

MAPA DA RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL CALCULADA A PARTIR DADOS DE SATÉLITE

Na ausência ou escassez de dados de radiação solar, a metodologia utilizada pelos construtores de sistemas solares, é baseada em um conjunto de informações existentes, a fim de que se possa obter o melhor resultado na operação do sistema. Normalmente as informações de radiação solar global são medidas em estações meteorológicas. No Brasil, há uma pequena quantidade de estações e a distância entre elas pode chegar a centenas de quilômetros. Além disso, os sensores das estações têm sensibilidades diferentes e ainda, as séries temporais são curtas. Daí a importância de se calcular a radiação solar global utilizando imagens de satélite que possuem melhor resolução espacial e também períodos mais longos de informações.

ESTIMATIVA DE GERAÇÃO FOTOVOLTAICA PARA O ESTADO DE MINAS GERAIS

O mapeamento da produção de eletricidade fotovoltaica para o estado de Minas Gerais foi feito utilizando as figuras de mérito técnico, amplamente citadas na literatura e de grande utilidade na análise de engenharia (avaliação do desempenho) de sistemas fotovoltaicos conectados à rede elétrica (SFCRs).

Uma configuração típica e comum de SFCR foi utilizada para todas as cidades considerando-se as seguintes hipóteses: orientação norte geográfico, com inclinação em relação à horizontal igual à latitude, capacidade instalada de 500 kWp, 1.960 módulos fotovoltaicos com tecnologia c-Si, acoplado a um inversor central de 570 kW de potência nominal. Esta configuração fornece fator de dimensionamento do inversor (FDI) de 0,88. As seguintes conclusões podem ser inferidas do estudo:

- As mesorregiões mais promissoras são o Norte e Nordeste tendo, respectivamente, EE e PR, respectivamente, de: 1489 e 1469 kWh/kWp e 0,8 de PR. Por outro lado, as mesorregiões de Campo das Vertentes e Zona da Mata apresentaram os menores índices: 1279 e 1258 1469 kWh/kWp e 0,79 de PR;
- Minas Gerais, de uma forma geral, possui uma média anual de 1354 kWh / kWp e 0,79 de rendimento global médio demonstrando ser um estado de grandes oportunidades para aplicação das tecnologias fotovoltaicas.

5.3
CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os produtos gerados pelo Atlas Solarimétrico de Minas Gerais II, estão em sintonia com as reais necessidades do momento da indústria solar no Brasil e particularmente, em Minas Gerais, estado com o maior número de sistemas de micro geração FV instalado no país. Os mapas atualizados da irradiação solar baseados em dados terrestres ou satélites são "o estado da arte" das informações solarimétricas disponíveis em Minas Gerais e, por isso, são instrumentos que outorgarão confiabilidade e economicidade aos usuários da tecnologia solar no estado. Além disso, permitirá manter a hegemonia do estado nessa tecnologia, oferecendo aos potenciais investidores e fornecedores de tecnologia, instrumentos que permitirão avaliar de forma precisa os empreendimentos no estado.

O mapeamento dos SFCR dará capilaridade ao uso da tecnologia solar distribuída no estado porque permitirá ao consumidor final ou projetista local definir em bases técnicas, o dimensionamento técnico e econômico preliminar. Em outras palavras, o conhecimento trazido pela ferramenta permitirá avaliar com maior propriedade, clareza, simplicidade e rapidez cada aplicação local da tecnologia.

As seguintes aplicações adicionais resultantes desse projeto podem ser citadas: parte dos produtos desse projeto (dados solarimétricos) são pré-requisitos para participação em leilões de geração solar térmica ou FV organizados pela Aneel; a rede de medição solarimétrica da Cemig pode funcionar como *benchmarking* para outras distribuidoras ou geradoras que também planejam coletar dados solarimétricos locais e para um futuro onde a inserção solar fotovoltaica seja significativa em informações solarimétricas serão fundamentais para as distribuidoras desenvolver estudos de impactos na rede de distribuição quando houver muitos SFCR conectados à rede.

6

BIBLIOGRAFIA

ABRAVA – **Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. Departamento Nacional de Aquecimento Solar (DASOL)**. http://www.dasolabrava.org.br/wp-content/uploads/2010/07/Grafico_ Mercado.jpg fev. de 2011

ABREU, J. F; BARROSO, L.C. **Geografia, modelos de análise espacial e GIS**. Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), 2003.

ALMONACID, F., RUS, C., PÉREZ-HIGUERAS, P., HONTORIA, L.**Calculation of the energy provided by a PV generator. Comparative study: Conventional methods vs. artificial neural networks**. Energy v. 36, pp. 375-384, 2011.

AGUIAR, R. J.; COLLARES-PEREIRA, M.; CONDE, J. P. **Simple procedure for generating sequences of daily radiation values using a library of Markov transition matrices**. Solar Energy, vol. 40, p. 269-279, 1988.

AKINOGLU, B. G.; ECEVIT, A. **Construction of a quadratic model using modified Angstrom coefficients to estimate global solar radiation**. Solar Energy, vol. 45, p. 85-92, 1990.

ANA – **AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS**. HidroWeb: Sistema de informação hidrológica. Disponível em http://hidroweb.ana.gov.br. Acesso em mar. 2011.

ANEEL – **Agência Nacional de Energia Elétrica. Brasília**/DF, 2011.

ANGSTROM, A. Solar and terrestrial radiation. **Quart. J. Roy. Met. Soc**. 50, p. 121-126, 1924.

ATIENZA, G. **Instrumentación Solarimétrica. Centro de Investigaciones de Recursos Naturales**. Argentina: Instituto de Clima y Agua, 1993.

AZEVEDO, V. W. B. **Estudo de localização de centrais termoelétricas solares de grande porte no Nordeste do Brasil**. Dissertação de Mestrado. PROTENUFPE, 2008.

DECKER, B. e JAHN, U. **Performance of 170 grid connected PV plants in northern Germany—analysis of yields and optimization potentials**. Solar Energy, vol. 59, no. 4, pp. 127–133, 1997.

MARION, B; ADELSTEIN, J; BOYLE, K; HAYDEN, H; HAMMOND, B; FLETCHER, T; NARANG, D; KIMBER, A; MITCHELL, L. e RICH, G. **Performance parameters for grid-connected PV systems**: in Conference Record of the Thirty-first IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2005, pp. 1601–1606.

KOIRALA, B. P; SAHAN, B. e HENZE, N. **Study on MPP mismatch losses in photovoltaic** applications in 24th EUPVSEC. Hamburg, Germany, 2009, pp. 3727–3733.

BRITO, J. L. N. e Silva. **Cartografia Digital e GPS**. Disponível em http://www. geomatica.eng.uerj.br/docentes/nunes/_media/ud_i_carto_digital_2004. pdf.

BURROUGH,P.A.;MCDONNELL,Rachael. **Principles of geographical information systems.** New York: Oxford University Press, p. 333, 1998.

6 BIBLIOGRAFIA

CAAMAÑO, M. C. **Edificios Fotovoltaicos Conectados alaRed Eléctrica: Caracterizacíon y Analisis**. Tesis (Doctoral) – Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Telecominicacíon, Departamento de Electrónica Física, Universidad Politécnica de Madrid, Madrid. 200 f, 1998.

CARAM, R. O. **Reconstrução de séries e análise geoestatística da precipitação no Estado de Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, p. 92, 2007.

COLLE S. e PEREIRA, E. B. **Atlas de Irradiação Solar do Brasil**. Brasília/DF: Instituto Nacional de Meteorologia, 1998.

COMBER,A.; PROCTOR, C.;ANTHONY, S. *A combined pycnophylactic-dasymetric method for disaggregating spatial data: the example of agricultural land use*. In: Proceedings of the Geographical Information Science Research UK Conference. National Centre for Geocomputation. National University of Ireland: Maynooth, p. 445-450, 2007.

DER/MG – **Departamento de Estradas de Rodagem de Minas Gerais**. Belo Horizonte/MG, 2010-2011. Disponível em: http://en.wikipedia.org/wiki/List_of_solar_thermal_power_ stations#Operational Disponível em: http://www.pvresources.com/en/top50pv.php, abr. 2011. Disponível em: http://www.renewableenergyworld.com/rea/news/article/ 2010/08/strong-pv-demand-in-2009-2010-and-2011]

ENERGY SOURCES; World Energy Council. Survey of Energy Resources, London: W1B 5LT United Kingdom, 2010. EPIA. Solar Generation 6 – Solar photovoltaic electricity empowering the World, 2001.

ESTEVES, A.; ROSA, C. **A simple method for correcting the solar radiation readings of Robitzch-type pyranometer**. Solar Energy, vol. 42, n. 1, 1989.

H. S. HUANG, J. C. JAO, K. L. YEN, and. T. TSAI**. Performance and Availability Analyses of PV Generation Systems in Taiwan.** World Academy of Science, Engineering and Technology, vol. 54, 2011.

GALEGOS, H. G.; ATIENZA, G.; GARCIA, M. **Cartas de radiación solar diaria para la región meridional de América del Sul. Buenos Aires**: Anais do II Congresso Interamericano de Meteorologia e V Congresso Argentino de Meteorologia, 1987.

GAUTIER, C.; DIAK, G.; MASSE, S. A simple physical model to estimate incident radiation at the Earth surface from GOES satellite data. **Journal of Applied Meteorology**, vol. 19, 1980.

GROSSI GALLEGOS, H., LOPARDO. R. 1988. **Spatial variability of the global solar radiation obtained by the solarimetric network in the Argentine Pampa Humeda**. Solar Energy, vol. 40, n. 5, p. 397-404, 1988.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio (PNAD), Brasília/DF, 2009-2010. IEF – Instituto Estadual de Florestas. Bases Cartográficas. Belo Horizonte/MG, 2009-2010.

INMET – **Instituto Nacional de Meteorologia**. Brasília/DF, 1961-1990 e 2009- 2010.

“IEC 61724 Std. **Photovoltaic System Performance Monitoring-Guidelines for Measurement, Data Exchange and Analysis**. IEC, 1998.

INPE – **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Brasília/DF, 2008-2010.

JANJAI, S.; PANKAEW, P.; LAKSANABOONSONG, J. **A model for calculating hourly solar radiation from satellite data in the tropics**. Applied Energy, vol. 86, p. 1450-1457, 2009.

J. LELOUX, L. NARVARTE FERNANDEZ, e D. TREBOSC**, Performance Analysis of 10,000 Residential PV Systems in France and Belgium**, 2011.

J. LELOUX, L. NARVARTE, and D. TREBOSC, **Review of the performance of residential PV systems in France, Renewable and Sustainable Energy Reviews**, vol. 16, no. 2, pp. 1369–1376, 2012.

J. LELOUX, L. NARVARTE, and D. TREBOSC, **Review of the performance of residential PV systems in Belgium**, Renewable and Sustainable Energy Reviews, vol. 16, no. 1, pp. 178–184, Jan. 2012.

LYRA, F.; FRAIDENRAICH, N.; TIBA, C. **Solarimetria no Brasil – Situação e Propostas, Relatório do Grupo de Trabalho em Energia Solar Fotovoltaica**. Recife, 1993. MATOS, G. M. S. Aplicações Computacionais em Geografia. Belo Horizonte: Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC Minas), 2010.

L. MATURI, **Building skin as energy supply: Prototype development of a wooden prefabricated BiPV wall**, University of Trento, 2013.

MACÊDO, W. N. Análise do Fator de Dimensionamento do Inversor Aplicado a Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede”, Tese de Doutorado, Programa Interunidades de Pós-Graduação em Energia (EP/FEA/IEE/IF) da Universidade de São Paulo, 2006.

MELGAÇO, L. M. **A Geografia do Atrito: Dialética espacial e violência em Campinas**. Campinas: USP – Universidade de São Paulo, 2005.

MELLIT A.; BENGHANEM M.; HADJ A. A.; GUESSOUM A. **A simplified model for generating sequences of global solar radiation data for isolated sites: Using artificial neural network and a library of Markov transition matrices approach**. Solar Energy vol. 79, n. 5, p. 469-482, 2005.

MICHALSKY, J. J.; HARRISON L. C.; LE BARON, B. A. **Empirical radiometric correction of a silicon photodiode rotating shadowband pyranometer**. Solar Energy, vol. 39, n. 2, 1987.

Monitoring of PV Systems:Good Practices and Systematic Analysis. 28th EU-PVSEC, Paris, France, 2013.
N. H. REICH, B. MUELLER, A. ARMBRUSTER, W. G. J. H. M. VANSARK, K. KIEFER, e C. REISE, **Performance ratio revisited: is PR > 90% realistic?**, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 20, no. 6, pp. 717–726, 2012.

RENEWABLES – **Renewable Energy Policy Network forthe 21st Century**. Disponível em: http://www.ren21.net/REN21Activities/Publications/GlobalStatusReport/ GSR2011/tabid/56142/Default.aspx. Acesso em set. 2011.

RUTHER, R.; ZILLES, R. **Making the case for grid-connected photovoltaics in Brazil**. Energy Policy, vol. 39, n.3, p. 1027-1030, 2011.

SÁ JÚNIOR, A. **Aplicação da classificação de Köppen para o zoneamento climático do Estado de Minas Gerais**. Dissertação de Mestrado. Lavras: Universidade Federal de Lavras, p. 101, 2009.

SIQUEIRA, A. N., TIBA, C., FRAIDENRAICH, N. **Generation of daily solar irradiation by means of artificial network. Renewable Energy**, vol. 35, p. 2406- 2414, 2010.

STUHLMANN, R.; RIELAND, M.; RASCHKE, E. An improvement of the IGMK model to derive total and diffuse solar radiation at the surface from satellite data. **J. Applied Meteorology**, vol. 29, n.7, p. 586-603, 1990.

SWERA – **Solar and Wind Energy Resource Assessment**. Disponível em http://en.openei.org/apps/SWERA/. Acessado em 2005.

TARPLEY, J. D. Estimating incident solar radiation at the surface from geostationary satellite da ta. **Journal of Applied Meteorology**, vol. 18, 1979.

TIBA et al. **Atlas Solarimétrico do Brasil** – Banco de dados Terrestres. Pernambuco: Editora Universitária de Pernambuco, 2001.

THEVENARD, D., PELLAND, S. (2010). **Uncertainty in Long-Term Photovoltaic Yield Predictions**. Report 2010-122 (RP-TEC) 411-IEARES. CanmetENERGY – Natural Resource Canada, Varennes, QC, March, 2010.

TOBLER, W. R. **Smooth pycnophylactic interpolation for geographical regions. Journal of the American Statistical Association** n. 74, p. 519-536, 1979.

TYMVIOS F. S.; JACOVIDES C. P.; MICHAELIDES S. C.; SCOUTELI C. **Comparative study of angstroms and artificial neural networks methodologies in estimating global solar radiation**. Solar Energy vol. 78, p. 752-762, 2005.

JAHN, U. e NASSE, W. **Operational performance of grid-connected PV systems on buildings in Germany**, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, vol. 12, no. 6, pp. 441–448, 2004.

JAHN, U; MAYER, D; HEIDENREICH, M; DAHL, R; CASTELLO, S; CLAVADETSCHER, L; FRÖLICH, A; GRIMMIG, B; NASSE, W. e SAKUTA, K., **International Energy Agency PVPS Task 2: Analysis of the operational performance of the IEA Database PV systems, in 16th EUPVSEC**, Glasgow, United Kingdom, 2000, pp. 2673–2677.

NASSE, J. U. JAHN;, NORDMANN, W., T; CLAVADETSCHER, L. MAYER, D. **Achievements of task 2 of IEA PV power systems programme: final results on PV system performance**, in 19th EUPVSEC, Paris, France, 2004, pp. 2813–2816.
VERNICH, L. e ZUANNI, F., **About the minimum number of the years required to stabilize the solar irradiation statistical estimates**. Solar Energy, vol. 57, n. 6, p. 445-447, 1996.

WATSON, D. F. **Contouring: a guide to the analysis and display of spatial data: with programs on diskette**. Oxford: Pergamon, p. 321, 1992.

WMO – World Meteorological Organization. **Manual on the global observing system**. Geneva: WMO, n. 544, 2003. Disponível em: http://www.wmo.int/pages/index_en.htm. Acessado em ago. 2011.

YANG, K.; HUANG, G. W.; TAMAI, N. **A hybrid model for estimating global solar radiation. Solar Energy**, vol. 70, p. 13-22, 2001.

ZILLES, R.; MACÊDO, W.; GALHARDO, M.; OLIVEIRA, S. **Sistemas Fotovoltaicos Conectados à Rede Elétrica – Oficina de Ideias**, São Paulo, 2012.

EXPEDIENTE

Diretor-Presidente
Bernardo Afonso Salomão de Alvarenga

Diretor Vice-Presidente
Luiz Humberto Fernandes

Diretor de Distribuição e Comercialização
Ronaldo Gomes de Abreu,
Interinamente.

Diretor de Finanças e Relações com Investidores
Maurício Fernandes Leonardo Júnior

Diretor de Geração e Transmissão
Franklin Moreira Gonçalves

Diretor de Gestão Empresarial
José de Araújo Lins Neto

Diretor Jurídico
Luciano de Araújo Ferraz

Diretor de Relações Institucionais e Comunicação
Thiago de Azevedo Camargo

Diretor de Desenvolvimento de Negócios
Daniel Faria Costa

Diretor de Relações e Recursos Humanos
Maura Galuppo Botelho Martins

Diretor Comercial
Dimas Costa

ATLAS SOLARIMÉTRICO VOLUME II

Projeto de P&D Cemig/Aneel GT0468

Uma publicação da Companhia
Energética de Minas Gerais – Cemig

Av. Barbacena 1200 - 20º andar (TE)
Tel.: (31) 3506-3250
Caixa Postal 992 . Belo Horizonte/MG
e-mail: TE/ET@cemig.com.br
End. internet: www.cemig.com.br

Coordenação de edição
Ruibran Januário dos Reis
Cláudio Homero Ferreira da Silva

Projeto gráfico, produção e edição
Omar Vianello
Kendson Alves

Redação
Equipe de Técnica – P&D GT0468

Revisão
Ana Paula Rodrigues Morais
Cláudio Homero Ferreira da Silva
Rafael Marques de Souza

Impressão
Futura Express

Tiragem
100 exemplares

VOLUME II . 2016

Atlas Solarimétrico de Minas Gerais

VOLUME II